

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Engenharia Electrotécnica

**Aplicação Informática para o Estudo da Viabilidade Técnico-
económica de uma habitação sustentável**

Por

Ricardo Alexandre dos Santos Francisco

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia
da Universidade Nova de Lisboa para a obtenção do Grau de
Mestre em ENERGIAS RENOVÁVEIS – Conversão Eléctrica e
Utilização Sustentáveis

Orientador: Doutor João Francisco Alves Martins

Co-Orientador: Mestre Pedro Miguel Ribeiro Pereira

Lisboa

2010



Universidade Nova de Lisboa
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Engenharia Electrotécnica

Aplicação Informática para o Estudo da Viabilidade Técnico- Económica de uma habitação sustentável

Ricardo Alexandre dos Santos Francisco

Orientador

Doutor João Francisco Alves Martins

Co-orientador

Engenheiro Pedro Miguel Ribeiro Pereira

Lisboa

Setembro 2010

RESUMO

Os elevados preços verificados, actualmente, na aquisição de energias não renováveis para produção de energia eléctrica e os baixos níveis de eficiência energética no sector residencial, constituem o panorama nacional, o qual conduz ao fomento, por parte do governo português, à aquisição, instalação e uso de tecnologias de aproveitamento de energias endógenas e renováveis.

O aumento do conhecimento e consciencialização por parte da população, empresas etc., face a esta temática, tem produzido resultados considerados positivos, verificando-se um aumento de potência instalada e número de equipamentos vendidos ano após ano. No entanto, os níveis de eficiência energética das habitações ainda são baixos e a aderência “em massa” a estas tecnologias ainda não se verificou, talvez pelos elevados encargos associados ao investimento inicial neste tipo de sistemas, ou talvez devido à falta de conhecimento, por parte da população em geral, quer das tecnologias em si quer dos benefícios e custos associados a cada tipo de sistema de aproveitamento de energias renováveis.

Neste trabalho apresenta-se uma breve revisão do estado das habitações nacionais e internacionais no que diz respeito à eficiência energética bem como o perfil de consumo verificado neste sector. Apresenta-se uma explicação de cada tipo de tecnologia renovável passível de ser integrada numa habitação, o princípio de funcionamento de cada tecnologia bem como as vantagens e desvantagens associadas. Seguidamente, apresenta-se a aplicação informática desenvolvida com o intuito de auxiliar o cidadão na sua decisão de investimento em tecnologias renováveis para integração na sua habitação, apresentando antes, o estado da arte relativamente a aplicações disponíveis no mercado que possuam características semelhantes às características que se implementaram na referida ferramenta informática. A aplicação é capaz de efectuar uma análise económica, baseada no tipo de tecnologia renovável seleccionada, fornecendo ao utilizador o conhecimento dos benefícios e custos anuais envolvidos no sistema que seleccionou. Esta ferramenta tem como objectivo facilitar a interacção de qualquer utilizador com este tipo de tecnologias e pode ser usada como uma ferramenta de auxílio, apoio ou suporte à decisão de investimento neste tipo de sistemas. A aplicação foi desenvolvida tendo por base diversos modelos matemáticos, propostos por diferentes autores, os quais, descrevem o desempenho individual de cada tecnologia. A Ferramenta informática foi elaborada em ambiente MatLab.

Palavras-Chave: energias renováveis, eficiência energética, sistemas fotovoltaicos, solares térmicos, águas pluviais

ABSTRACT

The high prices currently achieved in the acquisition of non-renewable energy for electricity production and the low levels of energy efficiency in the housing sector are the national situation, which leads the Portuguese government to encourage the acquisition, the installation and the use of technologies which exploit indigenous and renewable energy.

The increase of knowledge and the awareness of the population, businesses and others in what this subject is concerned, have produced positive results and there has been an increase in the installed power and in the number of devices sold each year. However domestic energy efficiency levels are still low and the "mass" adherence to these technologies has not yet taken place. Either because of the high charges associated with the initial investment in such systems or because of the general population's lack of knowledge on the technologies themselves and the benefits and costs associated with each type of system using renewable energies.

This study presents a brief review of the status of national and international housing in terms of energy efficiency as well as the profile of consumption observed in this sector. An explanation of each type of renewable technology to be integrated in a house has been presented as well as the working principle of each technology and its advantages and disadvantages. Next, we present the developed application in order to help the citizen in his decision to invest in renewable technologies in their homes, presenting beforehand the state of the art for applications existing on the market which have similar characteristics of those implemented in the referred software tool. The application is able to elaborate an economic analysis based on the selected type of renewable technology, providing the user with the knowledge of benefits and the annual costs involved in the system you selected. This tool aims at facilitating the interaction of any user with such technologies and it can be used as a helpful tool to support the decision of investment in such systems. The development of the application was based on various mathematical models proposed by different authors, who describe the individual performance of each technology. The tool has been developed using MatLab environment.

Keywords: renewable energy, energy efficiency, photovoltaic, solar thermal, rainwater systems.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço aos meus orientadores, Professor Doutor João Martins e Mestre Pedro Pereira por todo o tempo disponibilizado e ajuda prestada, pelas preciosas indicações, sugestões, críticas e correcções sem as quais não teria sido possível o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Agradeço profundamente aos meus queridos pais, Manuel Francisco e Maria de Lurdes Francisco, por me terem concedido a oportunidade de ingressar e concluir esta etapa da minha vida e ao seu constante apoio.

À minha mulher, Eunice, pelo seu carinho, amizade e amor e pelo seu incessante apoio nos melhores e piores momentos que atravessei ao longo destes 5 anos, especialmente nestes dois últimos anos de realização deste trabalho. Agradeço a coragem que me transmitiu sempre e que me motivou a concluir esta etapa da minha vida. A ela, o meu muito obrigado.

Agradeço ao Engenheiro Nuno Seno pela ajuda e esclarecimentos na temática dos sistemas solares térmicos.

Agradeço ao Engenheiro Vasco Incio pela ajuda e esclarecimentos na temática dos sistemas solares térmicos.

Agradeço à Electrimeca a disponibilidade prestada e os dados que me facultou referentes aos sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

Agradeço à AS Solar Ibérica S.L., pela disponibilidade prestada e os dados facultados referentes aos sistemas fotovoltaicos e solares térmicos.

Aos meus colegas e amigos e a todos que de forma directa ou indirecta me apoiaram e ajudaram na elaboração deste trabalho. A todos eles o meu muito obrigado.

SIMBOLOGIA E NOTAÇÕES

GEE	→ Gases de efeito de estufa
CO ₂	→ Dióxido de carbono
UE	→ União europeia
PIB	→ Produto interno bruto
DGEG	→ Direcção geral de energia e geologia
LNEC	→ Laboratório nacional de engenharia civil
INE	→ Instituto nacional d estatística
ECHP	→ European community household panel – European statistical office’s
ESTIF	→ European solar thermal industry federation
SNIRH	→ Sistema Nacional de informação de recursos hídricos
QUERCUS	→ Associação nacional de conservação da natureza
PVGIS	→ Photovoltaic geographical information system
RCCTE	→ Regulamento das características do comportamento térmico dos edifícios
AQS	→ Águas quentes sanitárias
AVAC	→ Sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado
MPP	→ Maximum power point
MPPT	→ Maximum power point tracking
STC	→ Standard test condition
NOCT	→ Nominal operation condition test
SAAP	→ Sistemas de aproveitamento de águas pluviais
IRES4SH	→ Integration of renewable energy systems for a sustainable house

ÍNDICE

RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
AGRADECIMENTOS	v
SIMBOLOGIA E NOTAÇÕES	vii
CAPÍTULO 1 - Introdução	1
1.1- ENQUADRAMENTO	2
1.2 – OBJECTIVOS E METODOLOGIA DO TRABALHO	7
1.3– ESTRUTURA DO TRABALHO	8
1.4 – PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES PARA A INOVAÇÃO	9
CAPÍTULO 2 – Consumo de Energia e	11
Tecnologias de Aproveitamento de Energias Renováveis	11
2.1– CARACTERIZAÇÃO E PERFIL DE CONSUMOS DO EDIFICADO INTERNACIONAL E NACIONAL.....	12
2.2 – SITUAÇÃO ACTUAL RELATIVAMENTE À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PORTUGAL	14
2.3 – EDÍFICIOS ENERGETICAMENTE EFICIENTES	16
2.3.1 – A Utilização da Energia Solar	16
2.3.2 – Sistemas Solares Fotovoltaicos.....	17
2.3.2.1 – Constituição dos Sistemas Solares Fotovoltaicos Ligados à Rede Eléctrica.....	18
2.3.2.2 – Vantagens dos Sistemas Solares Fotovoltaicos.....	19
2.3.3 – Sistemas Solares Térmicos.....	20
2.3.3.1 – Classificação dos Sistemas Solares Térmicos	21
2.3.3.1.1 – Sistemas Solares Térmicos de Termossifão	21
2.3.3.1.2 – Sistemas Solares Térmicos de Circulação Forçada	21
2.3.3.2 – Constituição Geral de um Sistema Solar Térmico	23
2.3.3.3 – Escolha do Colector Solar	23
2.3.4 – A Utilização da Água da Chuva	24
2.3.5 – Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP).....	25
2.3.5.1 – Benefícios dos SAAP	26
2.3.5.2 – Aplicações dos Sistemas de Armazenamento de Águas Pluviais	26
2.3.5.3 – Constituição e Funcionamento dos SAAP	27
2.3.6 – Sistema Geotérmico / Sistemas Passivos de Arrefecimento.....	29
2.3.6.1 – Constituição e Funcionamento de Sistemas Passivos de Arrefecimento Através Do Solo	29
2.3.6.2 – Parâmetros que Influenciam a Temperatura que Entra na Habitação.....	30
2.3.6.3 – Vantagens dos Sistemas Passivos de Arrefecimento Através do Solo	31

2.3.6.4 - Desvantagens dos Sistemas Passivos de Arrefecimento Através do Solo.....	31
2.3.7 – Arquitectura Bioclimática	31
2.3.7.1 – Estratégias Bioclimáticas	32
2.3.7.2 – Princípios Gerais de Aplicação do Solar Passivo	33
2.3.7.3 – Classificação dos Sistemas Solares Passivos nos Edifícios.....	34
2.4 – ESTADO DA ARTE	36
2.4.1 – Revisão das Aplicações Disponíveis, Actualmente, no Mercado	36
CAPÍTULO 3- Modelização	41
3.1 – MODELO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	43
3.1.1 – Determinação da Potência de Pico do Sistema.....	44
3.1.2- Escolha do Inversor	45
3.1.3 – Estimativa do Número de Módulos a Instalar.....	45
3.1.4 – Cálculo do Número Máximo e Mínimo de Módulos Ligados em Série	46
3.1.5 – Cálculo do Número de Módulos Ligados em Paralelo (Fileiras).....	48
3.1.6 – Estimativa da Energia Anual Fornecida à Rede pelo Sistema.....	49
3.2 – MODELO DO SISTEMA SOLAR TÉRMICO	51
3.2.1 – Consumo Médio de Referência	52
3.2.2 – Aumento da Temperatura ΔT	53
3.2.3 – Número Anual de Dias de Consumo de AQS (Nd).....	53
3.2.4 – Cálculo da Área ou Superfície Absorvora (m ²).....	54
3.2.5 – Volume do Depósito de Armazenamento de AQS	54
3.2.6 – Estimativa da Energia Fornecida pelo Colector Solar ($E_{\text{Fornecida}}$) ou Energia Útil	55
3.3 – MODELO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS (SAAP).....	58
3.3.1 – Estimativa da Capacidade do Reservatório de Armazenamento de Água Pluvial	58
3.3.1.1 – <i>Método Simplificado Espanhol</i>	59
3.3.1.2 – <i>Área de Captação de Águas Pluviais</i>	60
3.3.1.3 – <i>Coeficientes de Escoamento / Run Off</i>	60
3.3.1.4 – <i>Eficiência Hidráulica de Filtragem</i>	61
3.3.2 – Estimativa de Consumos ou Necessidades de Água Pluvial (CEstimado).....	62
3.3.2.1 – <i>Consumos em WC (Autoclismos)</i>	63
3.3.2.2 – <i>Consumos em WC (Duches e Banhos)</i>	64
3.3.2.3 – <i>Consumos referentes à Máquina de Lavar Roupa</i>	64
3.3.2.4 – <i>Consumos referentes à Máquina de Lavar Louça</i>	65
3.3.2.5 – <i>Consumos para Lavagens de Pavimentos e outras Actividades</i>	65
3.3.3 – Análise e Simulação – Optimização do Sistema	66

3.4 – MODELO ECONÓMICO	69
3.4.1 - Fotovoltaico.....	71
3.4.2 – Solar Térmico	73
3.4.3 – Aproveitamento de Águas Pluviais	74
CAPÍTULO 4-	75
Descrição e Implementação da Aplicação (ECOhome-IRES4SH).....	75
4.1 – MODELO CONCEPTUAL DA APLICAÇÃO	76
4.1.1 – Apresentação e interacção com o Utilizador – Interface Gráfica.....	77
4.1.2 – Selecção/Controlo e Comando	77
4.1.3 – Introdução e Aquisição de dados.....	77
4.2 – IMPLEMENTAÇÃO PRÁTICA	78
CAPÍTULO 5-	91
Funcionamento da Aplicação (ECOhome-IRES4SH).....	91
5.1 – SISTEMA FOTOVOLTAICO	92
5.2 – SISTEMA SOLAR TÉRMICO	95
5.3 – SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	97
5.4 – CÁLCULOS ENERGÉTICOS E PLUVIAIS E CONFIGURAÇÕES DOS SISTEMAS	100
CAPÍTULO 6-	103
Discussão dos Resultados e Conclusões	103
6.1 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	104
6.2 – CONCLUSÕES	106
6.3 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	106
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Repartição do número de habitações pelos 7 países da UE-25.....	13
Figura 2.2 - Consumo energético do sector residencial em percentagem do consumo energético do país.....	15
Figura 2.3 - Níveis de irradiação solar na região mediterrânica e em Portugal	17
Figura 2.4 - Níveis de temperatura na região mediterrânica e em Portugal	178
Figura 2.5 - Níveis de insolação em Portugal.....	Erro! Marcador não definido.
Figura 2.6 - Sistema solar fotovoltaico ligado à rede eléctrica	18
Figura 2.7 - Sistema solar térmico de termossifão	22
Figura 2.8 - Sistema solar térmico de circulação forçada	22
Figura 2.9 - Níveis de precipitação na região mediterrânica e em Portugal	24
Figura 2.10 - Precipitação em Portugal em número de dias por anos	256
Figura 2.11 - Precipitação total em Portugal	25
Figura 2.12 - Distribuição de consumos domésticos de água integrando usos exteriores	27
Figura 2.13 - Distribuição de consumos domésticos de água sem usos exteriores	27
Figura 2.14 - Componentes básicos constituintes de um SAAP numa habitação	28
Figura 2.15 - Sistema passivo de arrefecimento através do solo com captação de ar do interior da habitação	30
Figura 2.16 - Sistema de ganho directo	35
Figura 2.17 - Sistema de ganho indirecto	35
Figura 2.18 - Sistema de ganho isolado	35
Figura 3.1 - Exemplo de um diagrama de blocos do modelo a desenvolver.....	42
Figura 3.2 - Fluxograma dos blocos constituintes do modelo do sistema solar fotovoltaico para ligação à rede eléctrica.....	44
Figura 3.3 - Fluxograma dos blocos constituintes do modelo do sistema solar térmico	52
Figura 3.4 - Algoritmo seguido para o cálculo e optimização do volume do reservatório.....	69
Figura 4.1 - Abordagem inicial adoptada no desenvolvimento da aplicação informática	81
Figura 4.2 - Estrutura adoptada para o desenvolvimento da aplicação	77
Figura 4.3 - Esquematização da introdução e aquisição de dados	78
Figura 4.4 - Janela principal, ou ambiente de trabalho da aplicação desenvolvida.....	79
Figura 4.5 - Janela da tecnologia fotovoltaica	80
Figura 4.6 - Obtenção dos dados climáticos para a tecnologia fotovoltaica.....	81
Figura 4.7 - Janela da tecnologia solar térmica	83
Figura 4.8 - Janela da tecnologia de aproveitamento de águas pluviais.....	85
Figura 4.9 - Obtenção dos dados pluviométricos para a localização seleccionada.....	861
Figura 4.10 - Janela referente aos cálculos energéticos e pluviais ou ao dimensionamento dos sistemas escolhidos.....	87
Figura 4.11 - Janela referente à análise económica dos sistemas seleccionados.....	88
Figura 5.1 - Introdução e aquisição de dados para o sistema solar fotovoltaico	92
Figura 5.2 - Dados climáticos e ângulo óptimo de inclinação dos módulos para a localização seleccionada (Aveiro, Vale de Cambra)	93
Figura 5.3 - Dados climáticos, radiação global média diária em plano horizontal e inclinado....	94
Figura 5.4 - Dados climáticos, temperatura média ambiente e temperatura média em 24 h....	94
Figura 5.5 - Introdução e aquisição de dados para o sistema solar térmico.....	96

Figura 5.6 - Introdução e aquisição de dados para o sistema de aproveitamento de águas pluviais	97
Figura 5.7 - Dados pluviométricos para a localização seleccionada (Aveiro, Vale de Cambra)	98
Figura 5.8 - Série de precipitações mensais no espaço temporal definido para a localização seleccionada (Aveiro, Vale de Cambra)	99
Figura 5.9 - Média da série de precipitações mensais para o espaço temporal definido para a localização seleccionada (Aveiro, Vale de Cambra).....	99
Figura 5.10 - Cálculos energéticos e pluviais para os sistemas seleccionados pelo utilizador ..	100
Figura 5.11 - Análise económica do sistema global.....	101

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 - Estratégias definidas no estudo “Sustainable Development and the Future Construction – A Comparison of visions from various countries” -----	6
Tabela 2.1 - Potencial de poupança de energia proporcionado pela adopção de medidas mais eficientes de conservação de energia-----	16
Tabela 2.1 - Vantagens dos sistemas solares fotovoltaicos quando comparados com os sistemas tradicionais ou convencionais de produção de energia eléctrica -----	19
Tabela 2.3 - Equipamentos que constituem um SAAP-----	28
Tabela 2.4 - Estratégias bioclimáticas consoante o tipo de clima do local -----	33
Tabela 2.5 - Classificação dos sistemas de aquecimento passivo -----	34
Tabela 2.6 - Revisão de softwares disponíveis, actualmente, no mercado para sistemas de energias renováveis -----	39
Tabela 3.1 - Diferenciação entre condições STC e condições NOCT-----	50
Tabela 3.2 - Relação entre o número de ocupantes e a tipologia de cada fracção autónoma para o cálculo do consumo médio diário de referência, adaptado do RCCTE -----	53
Tabela 3.3 - Número anual de dias de consumo de água quente solar de acordo com o tipo de edifício e utilização -----	53
Tabela 3.4 - Valores recomendados, segundo a ESTIF, para a temperatura média do interior do colector. -----	60
Tabela 3.5 - Coeficientes de escoamento “Run Off” para os vários tipos de superfície -----	61
Tabela 3.6 - Consumos médios diários por habitante em Portugal referenciados nos diversos estudos efectuados -----	62
Tabela 3.7 - Resumo dos valores médios diários por habitante e valores anuais referentes ao consumo de água numa habitação para fins não potáveis. -----	66
Tabela 3.8 – Variação da tarifa de venda de energia à rede para os sistemas fotovoltaicos tendo em conta o limite de potência anual instalado a nível nacional -----	71

CAPÍTULO 1 - Introdução

O presente capítulo faz o enquadramento da presente dissertação, apresenta o objectivo pretendido e a metodologia seguida no seu desenvolvimento e apresenta a forma como o presente trabalho está estruturado.

1.1- ENQUADRAMENTO

Os recursos fósseis (fontes de energia não renovável, à escala temporal do ser humano) constituem a principal fonte energética mundial. Estes recursos são fontes finitas de energia e a sua distribuição espacial no globo terrestre não é uniforme, pelo que a sua comercialização é feita em mercados altamente especulativos e instáveis e o seu preço é extremamente sensível a essas especulações fazendo com que estas fontes de energia sejam extremamente valorizadas, caras e a sua incessante procura conduza a graves conflitos políticos e até mesmo armados. Os elevados preços verificados actualmente nos mercados internacionais fazem com que exista uma enorme incerteza em relação à evolução futura do preço do petróleo, que não propicia o ambiente necessário ao crescimento económico pretendido a nível nacional e internacional.

No decorrer do século XX assistiu-se a uma forte crise energética, mais precisamente no sector petrolífero, que ficou conhecida como a crise petrolífera dos anos ou da década de 70. Esta começou no início dos anos 70 e a sua duração foi-se dilatando durante mais alguns anos, o que levou o preço do barril de petróleo a preços, até então, nunca vistos. Posteriormente foram registados outros eventos do género como a Guerra do Golfo, que elevou mais uma vez o preço do petróleo, mas desta vez a níveis menores, e que demonstra a sensibilidade deste sector.

A quantidade de gases nocivos emitidos para a atmosfera provenientes dos processos de queima destes combustíveis para produção de energia eléctrica ou outras formas de energia, têm induzido, segundo especialistas nomeadamente o painel intergovernamental para as alterações climáticas, uma enorme pressão e influenciam directamente o clima dando origem às chamadas alterações climáticas. Os episódios relatados no que diz respeito a estas alterações despertaram nas populações mundiais um estado geral de preocupação o qual se veio a consagrar na necessidade de se procurar novas fontes de energia.

Em 1997 e no sentido de minorar o efeito produzido pelas alterações climáticas foi assinado um protocolo internacional em Kyoto, do qual Portugal fez parte integrante e no qual ficou estabelecido que os países, em conjunto, se comprometiam a reduzir as concentrações dos GEE de acordo com as metas estabelecidas e de acordo com as estratégias que cada um ficaria responsável por desenvolver e que possibilitassem alcançar tal objectivo. Na sequência da convenção e do documento assinado, a UE comprometeu-se a reduzir em 8% as suas emissões no horizonte 2008-2012 tendo como referencia o ano de 1990. As estratégias desenvolvidas por cada país deviam assentar, evidentemente, num aumento da eficiência energética, quer recorrendo a medidas activas quer recorrendo a medidas passivas e a uma maior penetração de fontes de energias renováveis.

De salientar o facto, visto de uma perspectiva holística, de que actualmente países como a China, Índia e Brasil se afiguram como os maiores consumidores mundiais de energia, uma vez que estes três países representam cerca de 40% da população mundial à qual está associada mais de metade das necessidades totais de energia das comunidades em crescimento (Cúmano 2009).

A tomada de consciência quer do elevado custo dos recursos fósseis – petróleo, gás natural e carvão – quer da sua escassez, sendo esta escassez especulativa ou não, o elevado nível das emissões de gases poluentes, nomeadamente os GEE, na atmosfera e o aquecimento global do planeta constituem o actual cenário energético e ambiental internacional, no qual urge a necessidade de se tomarem medidas no sentido de inverter tal situação. Espera-se assim, tendo em vista o quadro descrito, que a eficiência energética venha a desempenhar um papel chave no sentido de se obter segurança no aprovisionamento de energia, na melhoria da qualidade de vida das populações e num aumento da sustentabilidade ambiental.

No actual contexto energético europeu, baseado numa procura crescente de energia, está o mais recente pacote de medidas, aprovado em Dezembro de 2008, e que dá pelo nome de Pacote Clima-Energia. Este pacote vem dar seguimento ao protocolo de Kyoto e a outras directivas existentes, cujo objectivo principal é o cumprimento das metas propostas para 2020. Estas metas englobam a redução dos GEE em, pelo menos, 20% relativamente aos níveis registados em 1990, aumento da utilização de energias renováveis para 20% da produção total de energia e a redução do consumo de energia em 20% mediante uma forte aposta na eficiência energética (P. C.-E. UE 2009).

Tendo tais metas em vista, surgem duas áreas onde o potencial de actuação, no que diz respeito à aplicação de estratégias que visem aumentar a eficiência energética, se assemelham de grande importância e nas quais urge de facto actuar. Estas áreas são a indústria e o sector residencial, sendo este último o foco da presente dissertação. Segundo a estratégia da UE para o ambiente urbano, o aquecimento (problema fundamental no centro e norte da Europa) e a iluminação dos edifícios são responsáveis pela maior fatia individual de utilização de energia, cerca de 42% do total, dos quais 70% são para aquecimento e produzem 35% de todas as emissões de GEE. Ainda possuem a agravante de consumirem metade dos materiais retirados da crosta terrestre e são a fonte de 450 Mt de resíduos de construção e de demolição por ano, o que representa mais de um quarto de todos os resíduos produzidos (UE 2004).

A crescente evolução dos preços do petróleo, apesar de não ser tão grave – em termos reais – como a situação verificada na década de 70, coloca em risco parte do crescimento económico sustentado em Portugal, uma vez que a intensidade energética portuguesa e a dependência energética do petróleo é superior aos restantes países europeus (o peso das importações de petróleo, face ao PIB, é três vezes mais elevado em Portugal do que na média dos restantes países da UE). Neste contexto e na sequência da reunião do Conselho de ministros de 19 de Março de 2004, Portugal elaborou um programa denominado de “Programa de Actuação para reduzir a dependência de Portugal face ao Petróleo”, o qual tem o objectivo de reduzir a intensidade energética do nosso país até 20% e reduzir a nossa dependência do petróleo igualmente em 20% (de 64 para 51 por cento), até 2010 (PARDPP 2004).

Por outras palavras o Programa tem como objectivo reduzir as necessidades energéticas da economia portuguesa para o mesmo nível de produção interna (menor intensidade), reduzindo em simultâneo a importância do petróleo no conjunto das energias primárias consumidas em Portugal. O Programa prevê um vasto conjunto de medidas para

cada um dos principais sectores da economia portuguesa, sendo de destacar, neste caso, as principais medidas para o sector residencial ou doméstico. Tais medidas incluem: (1) aumento da eficiência energética nos edifícios, (2) incentivo a uma maior racionalidade e eficiência energética por parte do consumidor final, fomentando a utilização de equipamentos eléctricos mais eficientes (3) dinamização do recurso à energia solar térmica, como fonte de energia descentralizada, minimizando perdas e contribuindo para o fomento do conceito “Comunidades Sustentáveis” (PARDPP 2004).

A aplicação de tais medidas contribui para a redução da intensidade energética e da dependência do petróleo contribuindo, assim, para a redução da factura energética do país em cerca de 15% a par de um impacto positivo no ambiente favorecendo um desenvolvimento económico mais sustentado em Portugal.

Em 2008 Portugal apresentou o Plano Nacional de Acção para a Eficiência energética, cujos objectivos são para ser cumpridos no horizonte 2015. Para o sector doméstico, o objectivo do referido Programa é o incentivo à reabilitação urbana sustentável, renovações dos equipamentos domésticos e iluminação e fomenta benefícios no licenciamento à construção eficiente, entre outras medidas (Cúmano 2009).

Apesar de todos estes mecanismos e incentivos à população no sentido de se atingir níveis mais elevados de eficiência energética, continua-se a assistir ao aumento na procura dos combustíveis fósseis, o que se traduz directamente num agravamento do preço da energia. Os maiores responsáveis por tal situação são, sem dúvida, os edifícios e os transportes uma vez que a exigência de níveis de conforto e de qualidade de vida da população mundial tem aumentado significativamente.

Segundo dados da DGEG para 2008, verificou-se em Portugal que o consumo de energia no sector doméstico representou cerca de 27% do consumo total de energia.

Outra questão que fará parte integrante das agendas políticas em todo o mundo e que interessa enquadrar no âmbito da presente dissertação está relacionada com o recurso Água, vital para vida humana, e o qual se tem tornado um recurso escasso devido à elevada procura, ao consumo desmedido e ineficiente e às elevadas perdas verificadas um pouco por todos os sistemas de abastecimento público em especial em Portugal.

O volume total de água existente no globo terrestre é formado por oceanos, mares e lagos de água salgada que representam cerca de 97% e os restantes 3% representam água doce a qual é a fonte de vida da humanidade. No entanto destes 3% cerca de 2/3 está localizada nas calotas polares e glaciares, inacessíveis ao ser humano e cuja tecnologia actual não consegue fazer a sua extracção para consumo humano. Sendo assim, resta apenas 1% de toda a água existente na terra para satisfazer o desenvolvimento e as necessidades do ser humano, ecossistemas e organismos existentes. Este 1% está disponível sob a forma de rios, lagos, aquíferos, atmosfera etc.

Estima-se que em 2050 a população mundial atinja os 9 mil milhões de pessoas o que representa um aumento na população mundial de 50% (Ghisi 2006) que, aliando ao facto das necessidades crescentes de consumo de água da população e ao desenvolvimento urbano acentuado, colocarão as actuais e futuras fontes de água potável sob uma enorme pressão (Villarreal e Dixon 2005). Além disso, as recentes condições climáticas resultam, em muitos casos, num excesso ou numa escassez no abastecimento de água nos diversos

lugares do globo (Zaizen, et al. 2000), o que poderá significar confrontos armados pela disputa de água nos locais onde existe escassez e um maior desperdício de água nos locais onde existe um excesso.

A água potável resulta da precipitação ou chuva acumulada em aquíferos, rios e, essencialmente, em albufeiras, que após tratamento é disponibilizada para consumo humano. De referir que este tratamento acarreta encargos elevados os quais se reflectem no custo final deste recurso.

A chuva, bem como a infiltração desta água nos solos, constitui uma parte fundamental de todos os ecossistemas, terrestre e aquático, e fornece bens e serviços para o bem-estar da humanidade. A produtividade destes ecossistemas é determinada pela disponibilidade e qualidade da água.

Actualmente, com o aumento da construção das áreas urbanas verifica-se níveis de impermeabilização dos solos elevadíssimos o que leva a que a infiltração ou a recarga dos aquíferos seja praticamente impossível nestas zonas fazendo com que os ecossistemas sofram um impacto muito significativo tendo como consequência a escassez de água potável. A agravar ainda mais esta situação está, a actual, “crise” no ambiente ou as ditas alterações climáticas, que, em muitas zonas do globo, englobam períodos de seca cada vez mais dilatados e alterações nas épocas normais de chuva e de seca tornando tais períodos irregulares.

As alterações climáticas, o estado de deterioração dos ecossistemas que se verifica actualmente e a crescente procura de água potável e sua poluição, estas tendo influência determinante no aumento dos custos de abastecimento da água potável, constituem um enorme desafio para a obtenção da sustentabilidade (UNEP 2009) ou dito de forma diferente, o consumo sustentável deste recurso por parte da humanidade, para satisfação das suas necessidades bem como do seu desenvolvimento, constituirá o maior desafio de todos os países no futuro.

No âmbito da política da UE, no que diz respeito a esta temática, foi aprovada, no Parlamento Europeu, a Directiva Quadro da Água (Directiva 2000/60/CE, de 23 de Outubro) que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água. Portugal, como membro da comunidade europeia, foi obrigado a adaptar-se a esta directiva e a 29 de Dezembro de 2005 transpôs para a ordem jurídica nacional a Directiva 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro aprovando assim a Lei nº 58/2005, conhecida como Lei da Água. No seguimento desta lei, e numa conjugação de esforços de diversas entidades, entre elas o LNEC e o Instituto da Água, com o objectivo de avaliar a eficiência com que a água era usada em Portugal nos sectores agrícola, urbano e industrial e propor um conjunto de medidas que permitissem melhorar a utilização deste recurso – considerado como património que deve ser protegido, defendido e tratado como tal segundo a Directiva Quadro da Água – surge o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA) aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros nº 113/2005 de 30 de Junho de 2005. Este Programa contempla, na medida 8 constante do documento, a utilização das águas pluviais para usos não potáveis ao nível dos sistemas prediais e de instalações colectivas.

Os edifícios têm-se assumido como uma área onde as questões ambientais não têm estado, de todo, presentes. A redução dos consumos energéticos, GEE como o CO₂ e consumos de água potável afiguram-se como uma das áreas chave para atingir a sustentabilidade. Pretende-se portanto rumar para um nível superior de sustentabilidade energética, e para tal ser possível é necessário ter em conta, constantemente, que o objectivo de se atingir uma “comunidade” mais sustentável é pela via da redução dos consumos energéticos nos edifícios, e consequentemente reduzindo os níveis de poluição associados ao uso de energia primária e sua influência no clima em termos globais, redução dos consumos de água potável nos edifícios e adoptar estratégias tanto a um nível activo como, de preferência, recorrendo a soluções passivas de eficiência energética.

As áreas de intervenção de sustentabilidade nos edifícios e a sua respectiva abordagem, sendo tão gerais, podem ser entendidas sob vários pontos de vista ou sobre várias perspectivas e podem auferir de diversas interpretações (Pinheiro 2006).

Segundo um estudo elaborado pelo CIB W82 (Conseil International du Bâtiment) em 1999 intitulado de “Sustainable Development and the Future Construction – A Comparison of visions from various countries” cujo objectivo assentou em responder à questão “quais os impactos e consequências de um desenvolvimento sustentável no sector da construção até ao ano de 2010” permitiu aos países que fizeram parte do estudo, num total de 14, entenderem e partilharem os conceitos de sustentabilidade dos edifícios e a definição de estratégias comuns a serem postas em prática (Bourdeau 1999). No que diz respeito às estratégias para a redução de consumos de energia e redução de consumos de água potável nos edifícios ficou definido, desde logo, as estratégias que se apresentam na tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Estratégias definidas no estudo “Sustainable Development and the Future Construction – A Comparison of visions from various countries”, adaptado do Bourdeau, 1999

<i>Área</i>	<i>Questões Principais</i>	<i>Consequências</i>
Energia	Edifícios energeticamente eficientes	- Desenho passivo de edifícios - Utilização de fontes de energia renovável - Garantia de Qualidade do ar interior
	Optimização de aquecimento / Arrefecimento / Iluminação	- Utilização de iluminação natural (iluminação passiva) - Aquecimento / Arrefecimento passivo
	Locais de construção energeticamente eficientes	- Uso de materiais constantes do local, diminuindo assim as necessidades de transporte
	Optimização do Consumo de Energia	- Utilização de sistemas de gestão energética
Água	Poupança de água Potável	- Reutilização de águas cinzentas
	Optimização dos Consumos de água	- Utilização de sistemas de gestão da água

		- Aproveitamento de águas pluviais ou águas da chuva
--	--	--

Verifica-se então, que o actual estado de ineficiência dos edifícios e em especial do parque edificado em Portugal não se deve à falta de “know-how” na matéria, pois já existem estratégias bem delineadas há mais de uma década, mas sim à relutância que a indústria e os mercados apresentam em inserir novos e melhores materiais, novas tecnologias e ao desconhecimento por parte do requerente destes novos métodos, materiais e tecnologias disponíveis no mercado, capazes de elevar o conforto e o bem-estar bem como a eficiência global das suas habitações para níveis bastante satisfatórios sem terem de recorrer, posteriormente, a equipamentos – muitos deles de baixa eficiência – que apresentam consumos de energia elevados para satisfação das suas necessidades de conforto e do seu bem-estar.

1.2 – OBJECTIVOS E METODOLOGIA DO TRABALHO

Conforme mencionado anteriormente, verificou-se, nos últimos anos, que os métodos empregues na construção de um edifício ou de uma habitação não têm sido, de todo, eficientes, conduzindo a uma situação de enormes gastos quer de energia para aquecimento/arrefecimento ambiente, levando a pesadas facturas no final do mês, quer a elevados consumos de água. O aparecimento de novas tecnologias, consideradas “tecnologias verdes” como a fotovoltaica, eólica, solar térmica entre outras, com o aumento do conhecimento técnico das mesmas e com o aparecimento da respectiva legislação, que visa o fomento da aquisição e instalação deste tipo de tecnologias, proporcionam, aos utilizadores finais das habitações melhores condições de habitabilidade e conforto, contribuem para o desenvolvimento sustentável e proporcionam uma maior segurança no aprovisionamento e fornecimento de energia às habitações bem como uma maior eficiência no uso da energia. No entanto, são ainda poucos os exemplos práticos que temos e o mercado (utilizadores) mostra ainda uma certa relutância em adoptar este tipo de tecnologias pois, não raras vezes, associam estas tecnologias a elevados encargos financeiros esquecendo os benefícios e proveitos que podem obter pela aquisição e instalação deste tipo de sistemas. O objectivo da presente dissertação é efectuar um estudo da viabilidade técnico-económica de uma habitação sustentável, entendendo-se por habitação sustentável uma habitação que incorpore uma, duas ou todas as tecnologias mencionadas no presente trabalho no sentido de proporcionar ao utilizador, interessado na aquisição deste tipo de tecnologias, uma ideia inicial dos benefícios associados às escolhas que efectuar e os encargos inerentes a essas escolhas. O estudo irá incidir na viabilidade económica da incorporação de tecnologias para aproveitamento de energias endógenas e renováveis numa habitação em Portugal, sendo as tecnologias abrangidas a solar fotovoltaica e solar térmica – denominadas de tecnologias activas para produção descentralizada de energia – e tecnologia de aproveitamento e posterior utilização de águas pluviais ou água da chuva para fins ou usos não potáveis. A incorporação de geotermia para aquecimento/arrefecimento da habitação e a construção segundo conceitos ou princípios bioclimáticos, também conhecida

como construção passiva, não serão incorporadas na aplicação a desenvolver fazendo-se apenas uma exposição teórica das respectivas temáticas. Isto porque, no que se refere à geotermia não se encontraram dados credíveis para aplicação do respectivo modelo bem como a escassa informação no que toca a preços de materiais e equipamentos necessários ao sistema para posterior incorporação na análise económica e no que diz respeito aos conceitos bioclimáticos, entendeu-se que estes saem fora do âmbito do estudo da viabilidade técnico-económica a que este estudo se propõe. No entanto, são tecnologias que, no sentido mais lato do conceito de habitação sustentável, não podem ser esquecidas e daí a referência e exposição teórica que se faz de cada um dos temas na presente dissertação. Posteriormente, pretende-se efectuar a comparação em termos económicos deste tipo de habitação com a habitação tida como habitual ou “standard” no nosso país, ou seja, uma habitação que não possui nenhuma tecnologia de aproveitamento de energias renováveis. No final, o objectivo é demonstrar os ganhos económicos e as poupanças energéticas associadas às mesmas, bem como os períodos ou tempos de retorno (payback) do investimento neste tipo de habitação através da elaboração de uma ferramenta informática capaz de reportar os referidos resultados. A aplicação será composta por diversas secções, as quais englobarão a escolha da tecnologia pretendida bem como dados necessários ao correcto funcionamento da mesma, dimensionamento dos sistemas e respectiva análise económica. A metodologia a adoptar assentará na pesquisa de literatura científica enquadrada no tema a discutir, aplicação de modelos, capazes de transmitir os resultados das várias tecnologias de aproveitamento de energias renováveis a integrar na habitação para posterior construção da referida aplicação informática e análise dos resultados provenientes da utilização da ferramenta desenvolvida para o efeito.

1.3– ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente dissertação está estruturada em seis capítulos. O segundo capítulo faz a caracterização do perfil de consumos do edificado nacional e internacional tendo em vista a percepção de quanto, como e de que forma é consumida e utilizada a energia nos edifícios. Descreve ainda a situação face à eficiência energética dos edifícios em Portugal com o intuito de perceber quais as áreas mais propícias para se actuar num edifício no sentido de corrigir as ineficiências verificadas, estando estas enquadradas no âmbito deste estudo. É parte integrante do segundo capítulo, também, a descrição de edifícios energeticamente eficientes, onde se descreve cada uma das tecnologias de aproveitamento de energias endógenas e renováveis bem como as suas vantagens e desvantagens e é feito, no final, a caracterização do estado da arte relativamente a aplicativos informáticos com as características do aplicativo que esta dissertação se propõe a desenvolver.

O terceiro capítulo apresenta e descreve os modelos que servirão de base à construção da referida aplicação, e o modelo económico referente a cada tecnologia.

O quarto capítulo faz a apresentação e descreve o aplicativo informático desenvolvido. Apresenta a estrutura adoptada no seu desenvolvimento bem como todas as secções que dele fazem parte.

O quinto capítulo apresenta exemplos, acompanhados de imagens, da aplicação desenvolvida.

O sexto, e último, capítulo apresenta os resultados obtidos, faz a discussão desses resultados e apresenta as respectivas conclusões.

1.4 – PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES PARA A INOVAÇÃO

O contributo para a inovação deste trabalho vai no sentido de colmatar as ineficiências e inexistências verificadas no que diz respeito a aplicativos informáticos com capacidades de fornecer uma ideia da viabilidade técnico-económica de uma habitação sustentável a um qualquer utilizador interessado em tornar a sua habitação mais sustentável. Assim, este trabalho contribui com uma aplicação que junta num só aplicativo informático as tecnologias de aproveitamento de energias renováveis, consideradas como principais, para integração numa habitação, é uma aplicação orientada a qualquer tipo de utilizador e que fornece, mediante as escolhas das tecnologias efectuadas, uma análise de viabilidade económica da habitação com incorporação das referidas tecnologias efectuando a análise como um todo. É uma ferramenta que permite também a comparação entre a habitação sustentável e uma habitação “standard”, considerada como um habitação sem qualquer tipo de incorporação de tecnologias de aproveitamento de energias endógenas e renováveis.

CAPÍTULO 2 – Consumo de Energia e Tecnologias de Aproveitamento de Energias Renováveis

O presente capítulo apresenta a caracterização e perfil de consumos do sector residencial nacional e internacional bem como o estado actual deste sector face a critérios de eficiência energética. Faz-se a explicação dos tipos de tecnologias de aproveitamento de energias renováveis que podem ser adicionadas a uma habitação, do seu princípio de funcionamento e das vantagens e desvantagens de cada tecnologia. Apresentar-se-á ainda o estado da arte relativamente a aplicações de energias renováveis disponíveis, actualmente, no mercado cujas características sejam próximas das características da aplicação desenvolvida no presente trabalho.

2.1- CARACTERIZAÇÃO E PERFIL DE CONSUMOS DO EDIFICADO INTERNACIONAL E NACIONAL

O consumo de energia nos edifícios ou nas habitações (sector residencial), estando este intimamente ligado e dependente do clima da região onde se encontram “instalados”, representa uma fatia importante do consumo total de energia na maioria dos países (Filippín, Flores e Canori 2010). É pois importante, no sentido de promover a conservação de energia neste sector, analisar os consumos energéticos do sector residencial de diferentes países e juntar os dados recolhidos para actuar nas áreas comuns que demonstrem maior fragilidade.

O número de habitações existentes na UE-25 é de cerca de 196 milhões, dos quais, segundo Balaras et al.(2007) 80% se concentram em 7 países ilustrados na figura 2.1, sendo todo o parque edificado na UE responsável por mais de 40% do consumo final de energia e destes, cerca de 63% dizem respeito ao consumo final de energia do sector residencial (Balaras, et al. 2007).

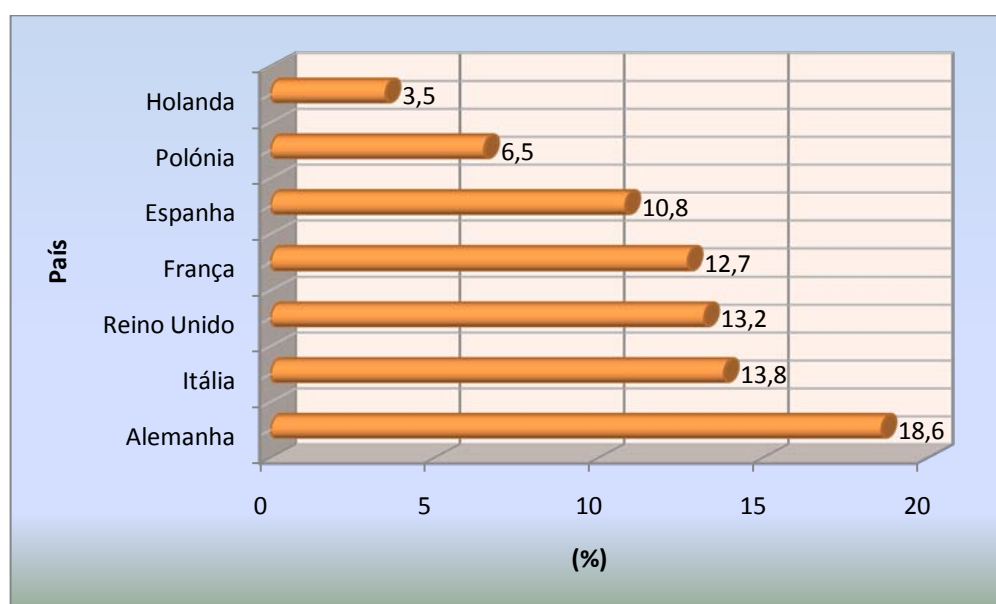


Figura 2.1 – Repartição do número de habitações pelos 7 países da UE-25. Fonte: Elaboração própria com base do descrito em Balaras et al. (2007)

Em França o elevado consumo de energia do sector residencial está relacionado com a satisfação das necessidades de climatização (electricidade, aquecimento de água e ar condicionado) estando este ligado à baixa eficiência das habitações deste país. É de salientar o facto do sector da construção civil ser o maior consumidor de energia de todos os sectores económicos, pois absorve cerca de 43% do total de energia consumida no país e contribui com cerca de 25% de emissões de GEE para a atmosfera (Catalina, Virgone e Blanco 2008).

No Reino Unido, segundo Ward (2008), o sector residencial apresenta um estado relativamente pobre das habitações o que conduz a um consumo de energia relativamente elevado. No período 1990 a 2006 registaram-se aumentos no consumo de energia primária da ordem dos 7,15% sendo este aumento impulsionado ou consequência do aumento do

consumo de energia no sector doméstico o qual, para o mesmo período, aumentou 11,8% (Ward 2008).

Cenário idêntico encontra-se nos Estados Unidos da América. Segundo a Agência de Protecção do Ambiente deste país, a razão pela qual os edifícios provocam um impacto considerável no consumo de energia e consequentemente na qualidade do ambiente é devida aos seus baixos requisitos de construção (Energy 2009).

No Canadá, o consumo de energia do sector residencial foi, maioritariamente, devido ao clima “hostil” do país e a grande fatia recaiu no consumo de energia para aquecimento, arrefecimento e iluminação dos espaços interiores das habitações. No entanto, verificou-se no período 1990 – 2004 um aumento do consumo de energia neste sector de apenas 10% o qual foi devido à implementação de estratégias de eficiência energética em todo o parque habitacional canadiano. Se tais medidas não tivessem sido tomadas, em 2004 o consumo de energia neste sector teria aumentado não 10% mas sim 31% do consumo total de energia do país (Canada’s 2006).

No México, o parque edificado, em grande parte formado por moradias (83,8%), foi responsável por consumir uma grande parte da energia total deste país. Em termos totais o sector dos edifícios consumiu cerca de 19,7% do total dos consumos energéticos do país (Vivienda 2006).

Em Portugal, entre 1970 e 1999 mais de 2 milhões de unidades habitacionais foram construídas, mas o verdadeiro crescimento do sector da habitação em Portugal verificou-se na década de 90, registando-se um crescimento anual médio de 6% do valor acrescentado bruto no que diz respeito ao sector da habitação. Entre 1980 e 2001 a população total portuguesa aumentou aproximadamente 5,3% passando de 9.819 milhões de habitantes para 10.336 milhões de habitantes e o parque habitacional privado cresceu 24,8% passando dos 2.924 milhões de fogos instalados em 1981 para 3.650 milhões de fogos em 2001 (Pinheiro 2006). Segundo dados do INE, em 2006 o parque habitacional de Portugal continental estava situado nos 8.691 milhões de fogos (INE, 2006). Tal crescimento reflectiu o aumento de consumo de energia que se tem vindo a verificar por parte deste sector, contudo, este aumento expressivo e significativo do parque edificado português não reflectiu nenhum aumento nas preocupações ambientais nem na procura de eficiência em termos de materiais para construção e em termos de consumos energéticos (Pinheiro 2006) daí a constatação do facto de estes terem vindo a subir ano após ano. A figura 2.2 ilustra o consumo de energia do sector residencial dos países supra citados em percentagem do consumo total do país.

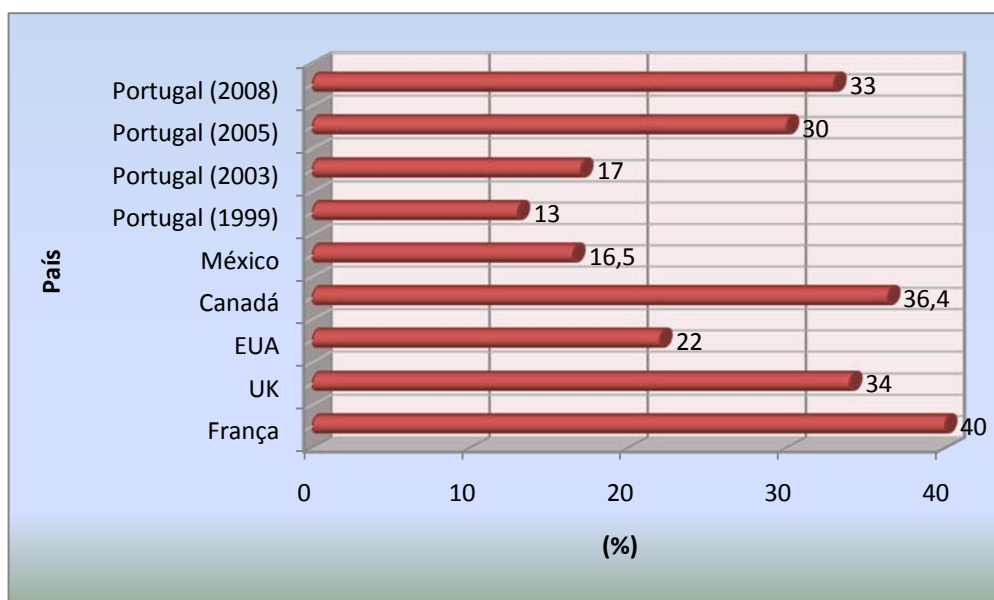


Figura 2.2 – Consumo energético do sector residencial em percentagem do consumo energético total do país. Fonte: elaboração própria com base em dados dos diversos países

No que diz respeito a Portugal e para se compreender a gravidade da situação podemos comparar o nosso país com o Canadá e ao fazê-lo, verifica-se que o consumo total do sector residencial representa quase tanto como o consumo total do sector residencial do referido país (33% em 2008 em Portugal para 36,4% em 2004 no Canadá, no entanto, devido às políticas adoptadas no Canadá no que diz respeito à eficiência energética, depreende-se que em 2008 o consumo total do sector residencial deste último tenha sido inferior) sendo conveniente referir a diferença bastante acentuada no tipo de clima dos dois países, tamanho do país bem como das respectivas economias.

Verifica-se e conclui-se, assim, que existe um enorme potencial de actuação no que diz respeito a adopção de estratégias para o aumento da eficiência energética no sector dos edifícios em todos os países analisados e em especial em Portugal.

2.2 – SITUAÇÃO ACTUAL RELATIVAMENTE À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PORTUGAL

Na actualidade, as pessoas passam cerca de 80 a 90% do seu tempo no interior de edifícios. Métodos de concepção e construção incorrectos podem conduzir a efeitos significativos na saúde e no bem-estar dos ocupantes dos edifícios e tem como resultado edifícios com manutenções, aquecimento e arrefecimento dispendiosos, afectando mais precisamente os idosos e os grupos sociais menos favorecidos (Pinheiro 2006).

Os níveis de eficiência energética dos edifícios ou das habitações variam consideravelmente ao longo de toda a Europa. A fraca eficiência energética resulta num número elevado de problemas sociais, incluindo problemas de saúde e bem-estar, bem como um excesso de consumo de energia, o qual conduz a elevados níveis de emissões de gases poluentes e nocivos para a atmosfera, nomeadamente o CO₂, e acarretam elevados encargos económicos para os seus ocupantes (Healy 2003).

Uma análise breve a 14 países europeus, entre os quais Portugal, e tendo por base dados do ECHP, pertencente ao European Statistical Office's, no que diz respeito a condições de habitabilidade, níveis de eficiência energética, acessibilidade e nível de satisfação com a sua habitação, revelou que cerca de 74% das habitações no nosso país apresenta níveis de eficiência reduzidos, aliado ao facto de que Portugal apresenta elevados níveis de dificuldade financeira para fazer face às despesas relacionadas com a habitação. A taxa de insatisfação com a habitação pode considerar-se elevada sendo que 1 em cada 9 habitantes revelou que está totalmente ou muito insatisfeito com a sua habitação (Healy 2003) (Balaras, et al. 2007).

Segundo Healy (2003), cerca de 19% das habitações em Portugal apresentam defeitos nos telhados – telhados em mau estado e sem isolamento oferecem uma serie de impactos negativos na habitação e no bem-estar das famílias que as habitam. Para além disso, este factor implica grandes perdas de energia e causam o aparecimento de humidades e bolores nas paredes e na cobertura da habitação – 33% das habitações indiciam presença de bolores e humidades nas paredes – este factor indica que a habitação não é energeticamente eficiente e manifesta a continua falta de aquecimento da habitação – 23% das habitações não tem em conta instalações de aquecimento de águas quentes sanitárias e cerca de 25% das habitações no nosso país demonstram problemas ao nível das janelas (Healy 2003).

Como se pode verificar em Portugal, os números expressivos falam por si e demonstram a ineficiência no sector residencial, herança de uma construção intensa e sem preocupações ambientais e de eficiência no que diz respeito a materiais e consumos energéticos.

Segundo Balaras et al. (2007), no sentido de combater os números supra citados e de acordo com a Directiva 2002/91/CE, relativa ao desempenho energético dos edifícios (EPBD 2002/91/CE), a adopção de medidas eficientes e de conservação de energia proporcionam à habitação um potencial de poupança conforme se ilustra na tabela 2.1 (Balaras, et al. 2007).

Tabela 2.1 – Potencial de poupança de energia proporcionado pela adopção de medidas mais eficientes de conservação de energia

Medida	Potencial de poupança de energia (%)
Isolamento de paredes exteriores	60
Impermeabilização de aberturas para o exterior (janelas, etc.)	21
Utilização d vidros duplos	20
Instalação de colectores solares térmicos	80
Manutenção regular de caldeiras para aquecimento	12

Existem, assim, dois vectores importantes para efectivar a redução dos consumos energéticos nos edifícios, os quais consistem, essencialmente, no melhor desenho arquitectónico dos edifícios e/ou das habitações, melhores materiais aplicados, melhores práticas construtivas (Balaras, et al. 2007). Em suma, um vector que traduz conceitos ou uma construção bioclimática e outro vector que assenta na aposta e incorporação nos edifícios de tecnologias que vão ao encontro de uma maior eficiência energética e melhores

desempenhos energéticos das habitações, como a integração de painéis solares fotovoltaicos para produção de energia eléctrica capaz de satisfazer as necessidades da habitação ou ser produzida e vendida à rede trazendo benefícios económicos e ambientais ao seu produtor, integração de painéis solares térmicos para aquecimento de águas quentes sanitárias, sistemas de aproveitamento de águas pluviais para usos que não necessitem de água potável entre outros. Estes vectores constituem assim um importante instrumento para a redução dos consumos energéticos e de água potável dos edifícios conservando os recursos naturais, aliados a uma reestruturação da economia europeia envolvendo um nível mais elevado no uso racional da energia (URE).

2.3 – EDÍFÍCIOS ENERGETICAMENTE EFICIENTES

2.3.1 – A Utilização da Energia Solar

A base para existência de vida na terra é o Sol. Este fornece energia à terra sob a forma de radiação solar. Devido à grande distância existente entre o Sol e a Terra, apenas uma mínima parte da radiação solar emitida pelo Sol atinge a superfície Terrestre. Esta radiação corresponde a uma quantidade de energia da ordem dos 1×10^{18} kWh/ano (IST 2004). Tal quantidade de energia, sob a forma de radiação solar, que atinge a superfície terrestre corresponde, actualmente, aproximadamente a 10.000 vezes a procura global de energia o que significa que para os actuais padrões de consumo de energia, para satisfação das necessidades do ser humano e seu desenvolvimento, apenas se teriam de utilizar 0,01% desta radiação incidente na terra. Por outras palavras, durante um dia a terra recebe do Sol uma quantidade de energia maior do que aquela que é consumida pelo ser humano durante um ano.

A intensidade da radiação solar fora da atmosfera, depende da distância entre o Sol e a Terra. Esta distância é variável no decorrer do ano e pode situar-se entre os $1,47 \times 10^8$ km e $1,52 \times 10^8$ km. Consequentemente, a potência radiante incidente por unidade de superfície também sofre uma variação que pode situar-se entre 1.325 W/m^2 e 1.412 W/m^2 sendo o valor médio de 1.367 W/m^2 designado também por constante solar (IST 2004). No entanto, como referido anteriormente, apenas uma parte da radiação incidente na superfície da atmosfera chega à superfície terrestre. A causa para este facto reside na atmosfera que actua como uma espécie de filtro reduzindo a radiação solar através de três fenómenos denominados de reflexão (nuvens, prédios, obstáculos etc.), absorção (Ozono, Oxigénio, Dióxido de Carbono e Vapor de água) e dispersão (partículas de pó, poluição, etc.). Assim, a potência radiante que atinge a superfície terrestre é da ordem dos 1.000 W/m^2 ao meio dia sob boas condições climatéricas.

Portugal dispõe de óptimas condições no que diz respeito a níveis de irradiância ou radiação e níveis de temperatura comparativamente aos restantes países na UE. Os níveis de radiação para Portugal podem situar-se entre os $1.300 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ e os $1.800 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$. Se tivermos em consideração o número de horas de sol por ano, Portugal possui aproximadamente 2200 a 3100 horas de sol. Estes valores vêm confirmar o potencial

que Portugal possui no que diz respeito ao aproveitamento da energia solar quer recorrendo a sistemas passivos ou sistemas activos para produção de energia. As figuras 2.3, 2.4 e 2.5 ilustram a situação descrita.

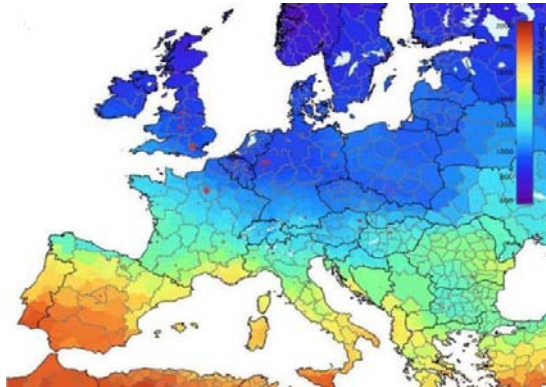


Figura 2.3 - Níveis de Irradiação Solar na região mediterrânica e em Portugal, Fonte: Tirone, 2009

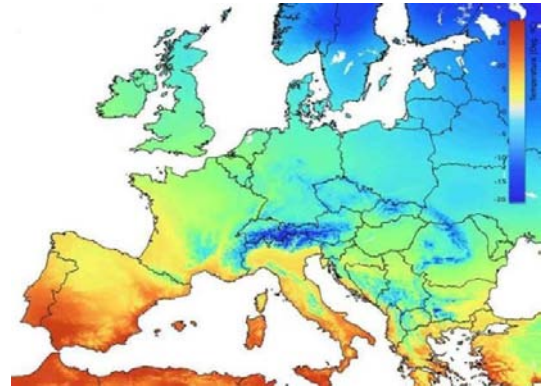


Figura 1.4 - Níveis de Temperatura na região mediterrânica e em Portugal, Fonte: Tirone, 2009

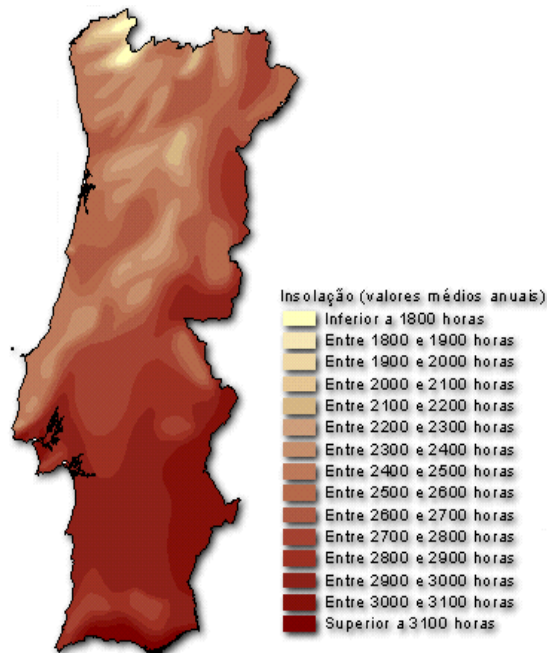


Figura 2.5 - Níveis de insolação em Portugal, Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente (APA), 2010

Assim, verifica-se que as temperaturas médias na região mediterrânica coincidem com as temperaturas que as pessoas consideram confortáveis em espaços interiores e a radiação solar na região mediterrânica e em especial em Portugal, é extremamente favorável à produção descentralizada de energia (Tirone 2009).

2.3.2 – Sistemas Solares Fotovoltaicos

Um sistema solar fotovoltaico é composto pela associação de módulos fotovoltaicos, formando painéis fotovoltaicos, sendo os módulos um conjunto de células fotovoltaicas interligadas e colocadas entre um material transparente e um substrato (encapsulamento). Os módulos solares fotovoltaicos constituem a unidade básica para as aplicações práticas

desta tecnologia e a configuração com que são habitualmente comercializados (Roriz, et al. 2010). Estes sistemas podem ser diferenciados ou divididos em três tipos, (1) sistemas ligados à rede eléctrica, (2) sistemas autónomos e (3) sistemas híbridos. Nos dois últimos casos, o aproveitamento da energia solar precisa de ser ajustado à procura energética. Uma vez que a energia produzida não corresponde, na generalidade, à procura pontual de energia de um consumidor particular, torna-se obrigatório considerar um sistema de armazenamento de energia, acumuladores ou baterias (sistemas autónomos) e meios de apoio complementares de produção de energia (sistemas híbridos). Tais sistemas foram, primeiramente, utilizados em locais remotos onde os custos da implementação da rede eléctrica eram demasiado elevados, posicionando-se como uma boa alternativa quer ao nível económico quer ao nível do abastecimento de energia nesses locais. No caso dos sistemas com ligação à rede, a rede pública de distribuição de electricidade opera como um acumulador de energia eléctrica e a totalidade da energia produzida é injectada na rede pública de distribuição, como resultado da receita adicional que é conseguida pelo maior valor que é pago, por cada unidade de energia eléctrica produzida pelos referidos sistemas (IST 2004).

No âmbito da presente dissertação, apenas se considerará, pelo referido anteriormente, sistemas fotovoltaicos para ligação à rede eléctrica. A figura 2.6 ilustra o tipo de sistema a ter em consideração no presente trabalho.

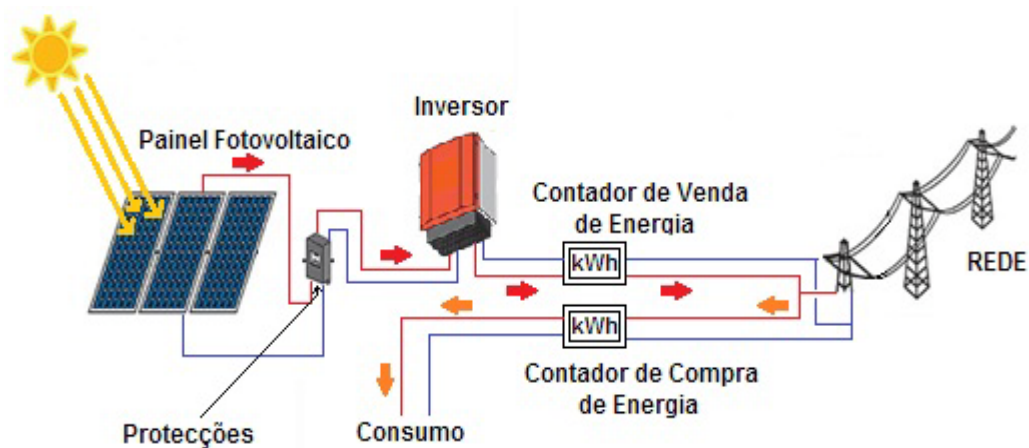


Figura 2.6 - Sistema Solar Fotovoltaico Ligado à rede Eléctrica

2.3.2.1 – Constituição dos Sistemas Solares Fotovoltaicos Ligados à Rede Eléctrica

Os sistemas solares fotovoltaicos ligados à rede eléctrica são constituídos pelos seguintes equipamentos:

- Gerador Fotovoltaico – representando o conjunto de painéis ligados entre si em série e/ ou em paralelo no sentido de produzir e injectar na rede energia eléctrica.
- Inversor - equipamento responsável pela adaptação da potência gerada pelo gerador fotovoltaico às características da rede eléctrica.
- Outros elementos – os sistemas carecem ainda de elementos para o seu correcto funcionamento como sejam os disjuntores e os fusíveis que asseguram as protecções

devidas e os respectivos cabos eléctricos que efectuam a ligação entre o gerador fotovoltaico e todos os outros equipamentos, e contadores de energia.

2.3.2.2 – Vantagens dos Sistemas Solares Fotovoltaicos

Para auferir das vantagens dos sistemas fotovoltaicos é necessário estabelecer uma comparação com os sistemas de produção de energia eléctrica convencionais, nomeadamente os sistemas de produção de energia eléctrica que recorrem a fontes de energia não renováveis ou a combustíveis fósseis como o petróleo, carvão e gás natural. Quando comparados ambos os sistemas, as principais vantagens que caracterizam a tecnologia fotovoltaica na produção de energia eléctrica são as descritas na tabela 2.2 (Roriz, et al. 2010).

Tabela 2.2 – Vantagens dos Sistemas Solares Fotovoltaicos quando comparados com os Sistemas tradicionais ou convencionais de produção de energia eléctrica, Fonte, Roriz, et al. 2010

Vantagem	Descrição
Fiabilidade	Nos casos em que uma operação contínua representa uma situação crítica e mesmo em condições severas, verifica-se que os sistemas fotovoltaicos evitam perdas associadas a interrupções de fornecimento de energia.
Elevado Tempo de vida útil	A generalidade dos fabricantes garante que os seus módulos possuem um tempo de vida útil não inferior a 25 anos e podem mesmo continuar a produzir energia, embora com rendimentos menores, muito para além deste tempo.
Baixo custo de manutenção	Os sistemas fotovoltaicos, depois de montados e instalados, apenas necessitam de inspecções periódicas e manutenção ocasional, pelo que os seus custos de manutenção são muito baixos comparados com os sistemas tradicionais de produção de energia eléctrica, centrais a carvão, petróleo e gás natural..
Ausência de custos com combustível	Os sistemas solares fotovoltaicos não carecem de nenhuma outra fonte energética se não o uso do sol pelo que os custos associados à compra, armazenamento e distribuição de combustível não existem.
Ausência de poluição sonora	Os sistemas fotovoltaicos fixos ou com dispositivos de seguimento de sol não produzem ruído significativo ao bem-estar do ser humano.
Modularidade	Na eventualidade de se pretender produzir mais energia, estes sistemas permitem a adição de mais módulos fotovoltaicos ao sistema instalado.
Segurança	Quando dimensionados e instalados de forma

Independência	<p>adequada e tendo em conta a ausência total de combustíveis fósseis, estes sistemas apresentam um nível de segurança elevado.</p> <p>Os sistemas permitem a independência parcial ou total, consoante o tipo de sistema instalado, sendo este factor a maior motivação ao investimento por parte dos utilizadores.</p>
Descentralização da Produção	<p>Uma vez que um sistema fotovoltaico instalado, por exemplo numa habitação, representa uma pequena central local de produção de energia, estas reduzem a probabilidade e o impacto negativo associado às falhas na rede eléctrica nacional.</p>

No entanto, também se encontram algumas desvantagens nestes sistemas. A principal desvantagem é, desde logo, o alto investimento inicial, por exemplo admitindo um salário médio de um trabalhador da ordem dos 750 € a 800 €, o investimento num sistema solar fotovoltaico para ligação à rede é aproximadamente 25 vezes superior (dependendo da tecnologia escolhida). Outra desvantagem é o custo ambiental que a produção das células acarreta. Segundo Stoppato (2008), o processo de fabrico de um módulo fotovoltaico divide-se em 9 fases distintas, sendo as mais críticas – pois envolvem o consumo de enormes quantidades de energia – a extracção da sílica e a montagem do módulo. No cômputo geral, a produção de módulos solares fotovoltaicos emite para o ambiente cerca de 80 kg CO₂ equivalente / módulo (Stoppato 2008) estando o custo ambiental dependente do valor do CO₂ no mercado europeu. De notar que estes custos não são tidos em conta no preço final desta tecnologia, pois se assim fosse, o preço final de um módulo solar fotovoltaico seria mais elevado. No entanto, comparativamente aos processos de produção de energia eléctrica convencionais, gerados nas centrais a carvão petróleo e gás natural, as emissões de CO₂ são bastante reduzidas. A divulgação deste aspecto pretende, apenas, ilustrar que apesar de reduzidos, esta tecnologia apresenta custos ambientais no seu processo de fabrico. Outro factor a ter em conta é a disponibilidade de radiação solar no local pretendido para instalação de um sistema solar fotovoltaico. Uma vez que as condições climáticas afectam significativamente o desempenho destes sistemas, ou de qualquer sistema baseado em energia solar, condicionam à partida a solução a implementar (Roriz, et al. 2010).

2.3.3 – Sistemas Solares Térmicos

Os sistemas solares térmicos baseiam-se no princípio de conversão da energia radiante, incidente numa superfície, em calor. Esta tecnologia possui diversas aplicações que vão desde a produção de energia eléctrica em grandes centrais solares térmicas, que necessitam de temperaturas muito elevadas, passando por aplicações em processos industriais até aplicações que necessitem de baixas temperaturas. Destas últimas, destacam-se as aplicações na produção de água quente sanitária (AQS), aquecimento de piscinas e aquecimento ambiente (INETI 2006).

Os processos que requerem baixas temperaturas ocorrem, sobretudo, em edifícios ou habitações, onde existe a necessidade de aquecimento de águas sanitárias e aquecimento e arrefecimento ambiente, sendo a principal aplicação destes sistemas o aquecimento de águas sanitárias, onde apresentam um bom desempenho e permitem aos seus utilizadores benefícios ambientais e poupanças económicos na sua factura energética. No entanto, é necessário salientar, apesar destes sistemas funcionarem a maior parte do ano (com o objectivo de fornecer 100% do consumo energético de Março a Setembro), que estes equipamentos solares não garantem a totalidade do consumo energético, sendo por isso necessário o apoio de uma instalação convencional que assegure as necessidades energéticas não cobertas pelo sistema solar (INETI 2006).

2.3.3.1 – Classificação dos Sistemas Solares Térmicos

Para além do tipo de utilização a que se destinam, os sistemas solares térmicos podem ser classificados em função da circulação do fluido térmico, em função da orientação do painel e em função dos circuitos existentes. Quanto à forma de circulação do fluido térmico, estes sistemas podem ser do tipo passivo, tipo de sistema onde se incluem os chamados sistemas solares térmicos de termossifão com ou sem acumulação integrada, ou do tipo activo em que a circulação do fluido térmico é feita recorrendo a uma bomba, podendo esta ser alimentada com energia eléctrica proveniente de um painel fotovoltaico ou mesmo da rede pública. Neste caso, estes sistemas são denominados de sistemas solares térmicos de circulação forçada (Roriz, et al. 2010). De seguida é feita uma breve explicação do funcionamento destes dois tipos de sistemas.

2.3.3.1.1 – Sistemas Solares Térmicos de Termossifão

Os sistemas por termossifão são utilizados essencialmente em sistemas pequenos de aquecimento de AQS. O seu princípio de funcionamento baseia-se na diferença de densidade do fluido de transferência, ou seja, o movimento do fluido faz-se por convecção natural, devido ao aumento de temperatura no colector que origina uma diminuição na densidade do fluido fazendo com que o fluido mais quente suba e o mais frio desça. Neste tipo de sistemas, o depósito de acumulação tem de estar a uma cota superior ao colector (Teixeira 2005) (Roriz, et al. 2010).

2.3.3.1.2 – Sistemas Solares Térmicos de Circulação Forçada

Estes sistemas representam outra forma de configuração possível e são aplicados, usualmente, nos sistemas de média e grande dimensão. Porém a sua instalação em edifícios ou habitações particulares em processos de baixa temperatura é cada vez mais uma realidade fornecendo algumas vantagens face ao sistema anterior. A diferença desta forma de configuração reside, essencialmente, no facto da instalação do depósito de

armazenamento poder ser instalado no interior do edifício ou habitação, permitindo uma redução das perdas devidas aos fenómenos de convecção, radiação e condução, uma vez que a temperatura ambiente no interior da habitação é maior do que a temperatura ambiente exterior, o que já não acontece com o termossifão que por restrições de ordem técnica, tem de permanecer sujeito às temperaturas exteriores. No entanto, é necessário recorrer a uma bomba circuladora capaz de transportar a energia captada pelo painel até ao local onde este se encontra, uma vez que o processo que aqui decorre não é auto-controlado, como no caso do termossifão, torna-se necessário o recurso aos dispositivos de controlo de transferência de energia dos colectores até aos depósitos de armazenamento de energia o que faz com que o investimento neste tipo de sistemas seja um pouco superior comparado com o anterior. O princípio de funcionamento baseia-se na instalação de sensores (sondas de temperatura) para medição da temperatura do fluido térmico à saída do colector solar e da temperatura da água no depósito de armazenamento. Assim que a temperatura do fluido térmico à saída do colector for superior à temperatura da água da zona inferior do depósito de armazenamento, um dispositivo electrónico dá ordem à bomba circuladora, a qual entra em funcionamento e transfere a energia captada e absorvida pelo colector para o interior do depósito de armazenamento. Esta transferência cessa assim que a temperatura na parte inferior do depósito e armazenamento for maior que a temperatura do fluido térmico à saída do colector. As figuras 2.7 e 2.8 ilustram os tipos de sistemas descritos.



Figura 2.7 - Sistema Solar Térmico de Termossifão,
Fonte: www.prestenergia.com



Figura 2.8 - Sistema Solar Térmico de Circulação
Forçada, Fonte: www.prestenergia.com

Quanto à caracterização destes sistemas em função dos circuitos existentes, estes sistemas classificam-se em sistemas directos e sistemas indirectos. Nos sistemas directos, a água potável, ou água sanitária, que é utilizada no edifício ou habitação percorre o painel solar para ser aquecida e posteriormente utilizada. Nos sistemas indirectos o circuito solar é um circuito distinto do circuito das águas sanitárias (Roriz, et al. 2010).

A escolha do tipo de sistema a adoptar está dependente das condições climáticas do local onde se pretende efectuar a instalação do equipamento solar, sendo que para Portugal os sistemas indirectos são os mais aconselhados. Isto porque em muitos locais de Portugal, a temperatura exterior atinge muitas vezes os 0 °C e nesta situação, ao adoptar-se um sistema directo, existe o risco da água congelar dentro do painel danificando-o de forma permanente. Outro aspecto a ter em conta é que a utilização de sistemas directos impossibilita o tratamento da água, uma vez que a água que passa no painel é a água de

consumo. Por estas razões, a escolha de um sistema indirecto afigura-se a mais acertada para o clima que se verifica em Portugal.

2.3.3.2 – Constituição Geral de um Sistema Solar Térmico

Para estes sistemas pretende-se aproveitar toda a energia proveniente da radiação solar, interessando pois, que a superfície sobre a qual esta incide consiga absorver o máximo da energia irradiada pelo sol e que incide na mesma e que essa energia, uma vez captada, seja totalmente transferida ao fluido térmico. Naturalmente que tal não é possível pois existem perdas devidas aos fenómenos de radiação, convecção e condução para o exterior, porém, o dispositivo ou equipamento que faz a captação de energia deverá ser concebido de forma a minimizar tais perdas. Deverá assim, possuir uma superfície com elevada absorvidade, no sentido de maximizar a captação de energia radiante incidente, ser isolado termicamente de forma a reduzir as perdas por convecção e condução e possuir uma baixa emissividade. Para além destas características constituintes do colector, e não tendo em conta o tipo de sistema solar térmico pois o número e tipo de equipamentos e acessórios que os constituem são bastante variáveis, em todos os sistemas solares térmicos existe uma captação de energia, um consumo de energia e uma rede de tubagem que serve de ligação entre a captação e o consumo de energia (Roriz, et al. 2010).

2.3.3.3 – Escolha do Colector Solar

A escolha do tipo de colector solar a utilizar está, fundamentalmente, dependente da temperatura que se pretende obter para o fluido térmico que atravessa o colector e do seu custo. Pode ainda ser tida em conta a dificuldade de instalação ou colocação no local (Roriz, et al. 2010). Actualmente existem diversas tecnologias de colectores solares térmicos disponíveis no mercado, facilmente se encontram colectores solares planos, colectores de tubos de vácuo, colectores concentradores parabólicos etc., para os quais o seu uso está, como referido anteriormente, dependente da temperatura desejada para o fluido térmico. Uma vez que o âmbito da presente dissertação está focado em habitações sustentáveis, ou seja, o foco de actuação são aplicações que requerem baixas temperaturas e tendo em conta que a legislação em vigor (RCCTE) impõe para estes sistemas uma temperatura de utilização de 60 °C, a escolha recai, apenas, em colectores solares planos para aquecimento de águas sanitárias. Esta escolha vai ao encontro do referido na bibliografia que cita “os colectores solares planos de baixa temperatura são utilizados quando se pretende obter temperaturas de fluido térmico inferiores a 80 °C, geralmente quando se pretende utilizar a água a uma temperatura de 60 °C, sendo por isso bastante utilizados em sistemas solares para AQS” (INETI 2006) (Roriz, et al. 2010).

2.3.4 – A Utilização da Água da Chuva

A água potável é um bem vital à sobrevivência do ser humano na terra. O aumento da população mundial, estimada em 9 mil milhões de pessoas em 2050 – um aumento de 50% - exercerá uma forte pressão nas actuais e futuras fontes de água potável, uma vez que as necessidades de consumo da população aumentam e o seu desenvolvimento terá de ser satisfeito, além disso, as recentes condições climáticas resultam, em muitos casos, num excesso ou numa escassez no abastecimento de água nos diversos lugares do globo.

A água potável para consumo humano resulta da precipitação ou chuva acumulada em aquíferos, rios e, essencialmente, em albufeiras. A chuva, bem como a infiltração desta água nos solos, constitui uma parte fundamental de todos os ecossistemas, terrestre e aquático, e fornecem bens e serviços para o bem-estar da humanidade. A produtividade destes ecossistemas é determinada pela disponibilidade e qualidade da água.

Os níveis de precipitação que Portugal dispõe, são considerados como extremamente favoráveis à produção de energia de forma descentralizada, produção de energia através de grandes e pequenas centrais hidroeléctricas, e para aproveitamento e reciclagem de águas pluviais para usos não potáveis (Tirone 2009). As figuras 2.9, 2.10 e 2.11 ilustram a situação descrita.



Figura 2.9 - Níveis de precipitação na região mediterrânica e em Portugal, Fonte: Tirone, 2009

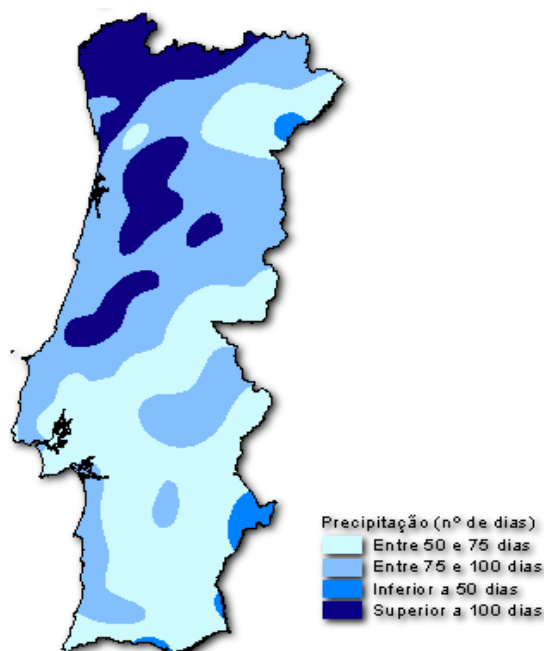


Figura 2.10 - Precipitação em Portugal em número de dias por anos, Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente (APA), 2010

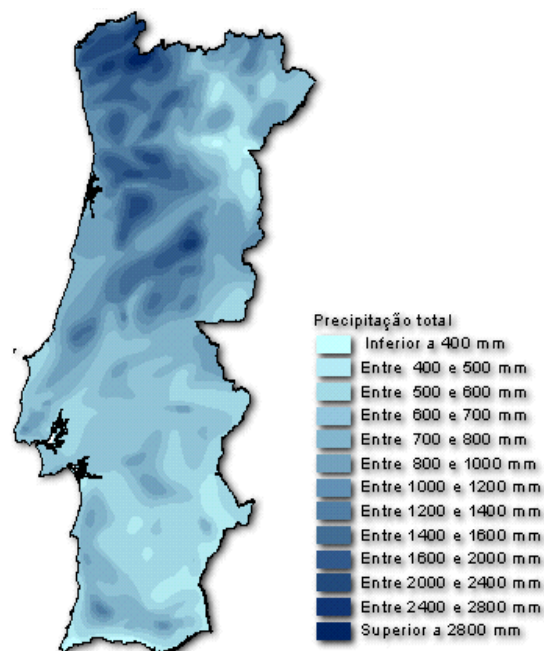


Figura 2.11 - Precipitação total em Portugal, Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente (APA), 2010

Como se pode verificar, os níveis de precipitação para o nosso país situam-se entre os 400 e os 2800 mm e no que diz respeito ao número de dias de precipitação, estes situam-se entre os 50 e os 100 dias. Estas características assemelham-se muito favoráveis à instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

2.3.5 – Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP)

Presentemente, a noção de aproveitamento de águas pluviais está associada a conceitos como uso eficiente da água, uso racional e conservação da água (Oliveira 2008) e que combinando com todas as outras fontes de energia renováveis permite atingir elevados níveis de eficiência e abranger, no sentido mais lato, o conceito de desenvolvimento sustentável. Ainda de referir a importância que o aproveitamento de águas pluviais representa, na actualidade, uma vez que a água potável representa um recurso valioso e indispensável à vida do ser humano a qual se tem tornado um bem escasso.

A água da chuva é uma fonte renovável de água limpa, que ao ser devidamente captada e armazenada é ideal para diversos usos no sector doméstico, industrial e comercial (Abdulla e Al-Shareef 2009). A captação e armazenamento de água pluvial, para usos urbanos ou rurais, é uma prática muito antiga porém, tem-se verificado um crescente abandono ao longo do tempo devido, essencialmente, à expansão, dinamização e evolução dos sistemas de abastecimento público de água potável (Oliveira 2008).

Perante estes factos e com a certeza de que a disponibilidade de água potável tem vindo a diminuir em todo o mundo, as atenções voltam-se agora para a procura de alternativas capazes de fazer frente a tal situação. Nessas alternativas, a captação, armazenamento e utilização de águas pluviais para variados fins desempenhará um papel

fulcral e é considerada como uma das melhores medidas no combate à escassez ou à abundância no abastecimento de água (Zaizen, et al. 2000) (Villarreal e Dixon 2005).

2.3.5.1 – Benefícios dos SAAP

A recente e crescente urbanização trouxe uma mudança nos ciclos hidrológicos das áreas afectadas pela ocupação humana, pois elevou o grau de impermeabilidade dos solos diminuindo a capacidade de infiltração e armazenamento de águas pluviais e a consequente recarga das águas subterrâneas, conduzindo ao aumento do escoamento superficial (Zaizen, et al. 2000) (Oliveira 2008), que se traduz num aumento da probabilidade de ocorrência de inundações nas áreas urbanas. Assim, para além dos ganhos ou poupanças significativas de água potável, os SAAP desempenham um papel essencial na restituição dos ciclos hidrológicos das zonas urbanas onde são instalados promovendo de forma assertiva o desenvolvimento sustentável (Zaizen, et al. 2000).

Consideram-se então, como benefícios da utilização da água pluvial (Zaizen, et al. 2000) (Khoury-Nolde 2002):

- Fonte de água limpa e gratuita
- Controlo do escoamento superficial e prevenção de inundações.
- Conservação da água potável e consequente diminuição dos custos associados ao seu consumo.
- Restituição do ciclo hidrológico das áreas urbanas.
- Prevenção contra desastres Naturais.
- Educação ambiental.
- Uso de tecnologia simples e flexível de fácil manutenção

Segundo Herrmann e Schmida (2000) os benefícios dos SAAP residem apenas em duas questões essenciais, a primeira consiste na avaliação dos efeitos positivos sobre o sistema de drenagem urbana, sobretudo na generalização das redes de esgotos combinadas e a segunda, na relação custo-benefício do uso da água pluvial nas habitações particulares (Thilo 1999).

2.3.5.2 – Aplicações dos Sistemas de Armazenamento de Águas Pluviais

Quanto às aplicações dos SAAP é unânime, em toda a comunidade científica bem como na população em geral – na Alemanha o avanço desta tecnologia e o crescimento do mercado dos sistemas de captação, armazenamento e utilização de águas pluviais deu-se graças à elevada consciência ambiental da população (Thilo 1999) – que estes sistemas têm um elevado potencial de aplicação e consequente redução de consumos de água potável em aplicações como:

- Descargas de autoclismos e urinóis em WC's
- Abastecimento de máquinas de lavar roupa
- Rega de pátios, jardins e plantas
- Lavagens e limpeza de automóveis
- Sistemas AVAC
- Combate a incêndios

Ao analisar-se a distribuição de consumos de água associados ao sector doméstico em Portugal, a aplicação destes sistemas na redução do consumo de água potável fica bem patente uma vez que os usos domésticos, que podem muito bem ser satisfeitos por águas de menor qualidade, como as descargas de autoclismos e duches e banhos tem um peso elevado no total do consumo de uma habitação. O consumo de água para descargas de vasos sanitários ou autoclismos representando cerca de 31% e o consumo de água para duchas e banhos 37%. Se os usos exteriores forem tidos em conta cuja parcela de consumo representa 10% do consumo total, sendo estes perfeitamente substituíveis por águas pluviais, os consumos referentes às descargas dos autoclismos e duchas e banhos representam 29% e 34% respectivamente. As figuras 2.12 e 2.13 ilustram a situação descrita.

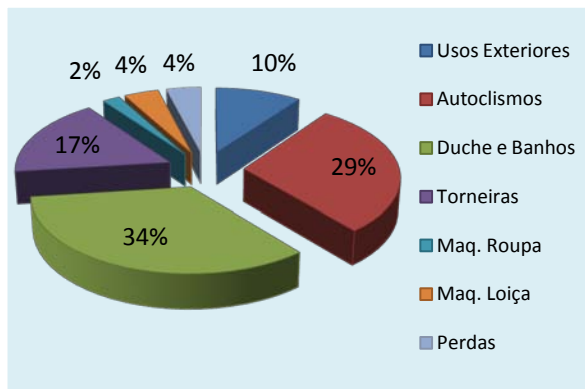


Figura 2.12 - Distribuição de Consumos Domésticos de água integrando usos exteriores, Fonte: Pinheiro 2008

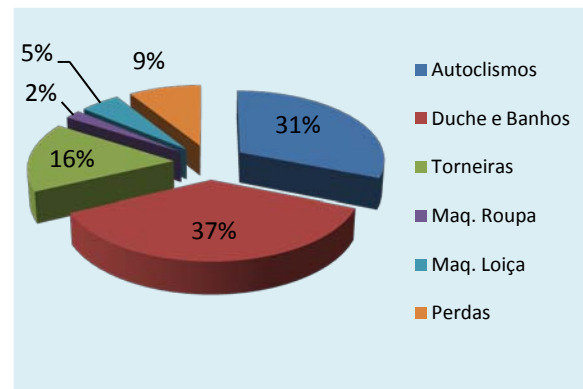


Figura 2.13 - Distribuição de Consumos Domésticos de água sem usos exteriores, Fonte: Pinheiro (2008)

Tendo em conta os dados ilustrados nas figuras anteriores e considerando uma habitação particular, (Abdulla e Al-Shareef 2009) os SAAP possuem um elevado interesse, não só pelos seus benefícios económicos e ambientais mas devido, essencialmente, ao seu baixo custo de instalação e à sua acessibilidade e facilidade de manutenção

2.3.5.3 – Constituição e Funcionamento dos SAAP

A tecnologia usada nos SAAP consiste, basicamente, na captação, desvio ou transmissão e armazenamento da água da chuva recolhida directamente das superfícies limpas tais como superfícies de telhados, para posteriormente ser usada na satisfação dos variados fins na habitação (Khoury-Nolde 2002) (Brown, Gerston e Colley 2005). Esta tecnologia é composta, tradicionalmente, por seis componentes (Brown, Gerston e Colley 2005) descritos na tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Equipamentos constituintes de um sistema de aproveitamento de águas pluviais

Componentes	Descrição
Superfície de captação	Superfície da qual é recolhido e aproveitado o escoamento que cai.
Transporte (Calhas ou Algerozes e tubos de queda)	Encaminha o escoamento aproveitado para um recipiente de armazenamento.
Filtragem (Dispositivos de desvio das primeiras chuvas e filtros)	Componentes que removem detritos, poeiras, dejectos e outros resíduos da água captada antes desta entrar no recipiente de armazenamento.
Armazenamento (Um ou mais Tanques)	Tanques, cisternas, potes ou jarros que armazenam a água captada depois desta passar pelo sistema de filtragem.
Sistema de Distribuição	Sistema que distribui a água armazenada para o seu uso final recorrendo a bombagem ou por meio da gravidade.
Tratamento / Purificação	Desinfecção ou outros métodos para tornar a água potável.

A figura 2.14 ilustra, de forma simples, um sistema de aproveitamento de água pluvial merecendo destaque os elementos, considerados, mais importantes deste sistema.

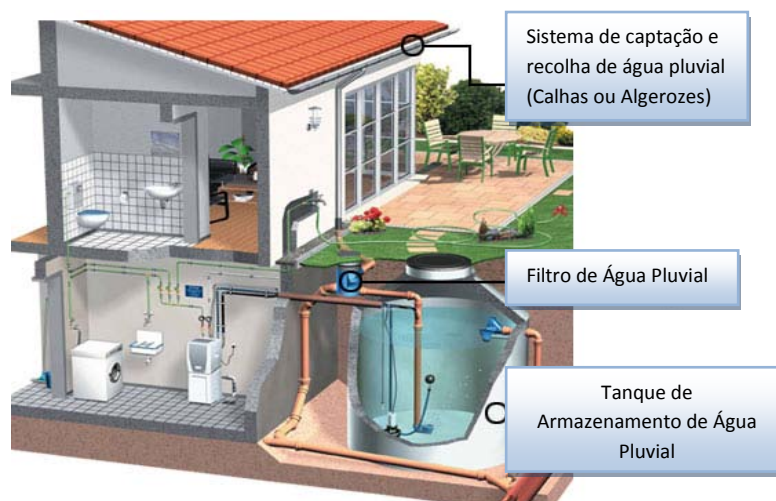


Figura 2.14 - Componentes básicos constituintes de um SAAP numa habitação, Fonte: Broken City Lab, 2010

No Tratamento / Purificação da água, é de extrema importância a correcta aplicação dos filtros ou outros métodos de tratamento no caso de se pretender que a água captada sirva para banhos ou mesmo para beber, caso contrário, se a água captada servir apenas para usos onde se necessite de água de menor qualidade, esta etapa inclui apenas a remoção de sólidos (Khoury-Nolde 2002) (Oliveira 2008).

Abdulla e Al-Shareef (2008) indicam outras fontes potenciais de recolha e aproveitamento das águas da chuva, no entanto, no âmbito da presente dissertação apenas as superfícies de telhados para recolha de água pluvial serão consideradas, uma vez que a água captada apresenta níveis de limpeza, normalmente, mais elevados (Khoury-Nolde 2002) nestas superfícies e porque iremos trabalhar ao nível de uma habitação unifamiliar.

Para tais sistemas, a instalação do tanque de armazenamento tanto pode ser efectuada à superfície, como enterrado, semi-enterrado, assente em apoios ou elevado (Tomaz 2007).

2.3.6 – Sistema Geotérmico / Sistemas Passivos de Arrefecimento

O aumento do consumo de energia no sector residencial verificado ano após ano deve-se, essencialmente, à introdução de equipamentos eléctricos e electrónicos de baixa eficiência nas habitações com o intuito de suprir as necessidades de conforto térmico dos habitantes, as quais não foram tidas em conta na fase de projecto e/ou construção da habitação. Um dos equipamentos que mais contribui para este aumento do consumo de energia é, sem dúvida, o aparelho de ar-condicionado.

Para fazer face a este crescente consumo provocado, em grande parte, por estes dispositivos existe actualmente os chamados sistemas geotérmicos, ou sistemas passivos de arrefecimento, cujo principal objectivo é a substituição dos aparelhos de ar-condicionado no aquecimento/arrefecimento da habitação. O termo passivo, nestes sistemas, diz respeito a tecnologias que não requerem qualquer tipo de consumo de energia eléctrica no seu funcionamento e o sistema a aplicar no aquecimento/arrefecimento da habitação é o sistema passivo de arrefecimento através do solo.

O arrefecimento da habitação através do solo traduz-se na dissipação do excesso de calor, acumulado pelo edifício ao longo do dia, utilizando o solo como meio de “descarga” desse excesso de calor. Isto é possível devido à alta capacidade “térmica” que o solo possui a uma determinada profundidade, protegendo o solo das altas variações de temperatura que se dão à superfície, o que faz com que a temperatura seja consideravelmente mais baixa do que a temperatura à superfície, temperatura ambiente, em épocas secas (Verão) e mais alta que a temperatura à superfície em épocas frias (Inverno). Em regiões de climas temperados, a temperatura do solo a uma profundidade de 2 a 3 m, pode ser inferior o suficiente, durante o verão, e superior o suficiente durante o inverno, à temperatura superficial fazendo com que estes sistemas satisfaçam as necessidades de arrefecimento/aquecimento da habitação (Poravou 2008).

2.3.6.1 – Constituição e Funcionamento de Sistemas Passivos de Arrefecimento Através Do Solo

Estes sistemas são constituídos por tubos, ligados entre si, enterrados no solo na horizontal a uma determinada profundidade, a qual pode variar de 1,5 a 4 m, e por ventoinhas que tem a função de efectuar a circulação do ar pelo interior dos tubos e posterior injeção do mesmo na habitação. Os tubos a enterrar podem ser de plástico, feitos de cimento ou metálicos com diâmetros, usuais, de 12 a 30 cm e comprimento variável situado entre os 12 e os 60 m, no entanto, é de referir que os mesmos estão dependentes da quantidade de ar a arrefecer/aquecer da habitação.

O ar quente/frio pode ser captado do interior da habitação ou do exterior, sendo que se for do exterior deverá, preferencialmente, ser captado de uma zona sombreada onde

existam correntes de ar mais frescas (Poravou 2008) e introduzido nos tubos enterrados, que tem como função a captação do calor e posterior dissipação do mesmo para o solo ou vice-versa, e arrefecido/aquecido enquanto circula no interior dos mesmos. Uma vez que a transferência de calor se dá do corpo mais quente para o corpo mais frio, o resultado é o ar arrefecido no Verão, onde a temperatura do solo está mais fria do que a temperatura do ar que circula no interior dos tubos e aquecido no inverno onde a temperatura do solo está mais quente do que a temperatura do ar que circula no interior dos tubos. Após o processo de transferência de calor, o ar é injectado novamente na habitação. De notar, que a temperatura do solo para a gama de profundidades referida é aproximadamente constante durante todo o ano (Zhang e Haghighat 2005). A figura 2.15 ilustra o sistema descrito anteriormente.

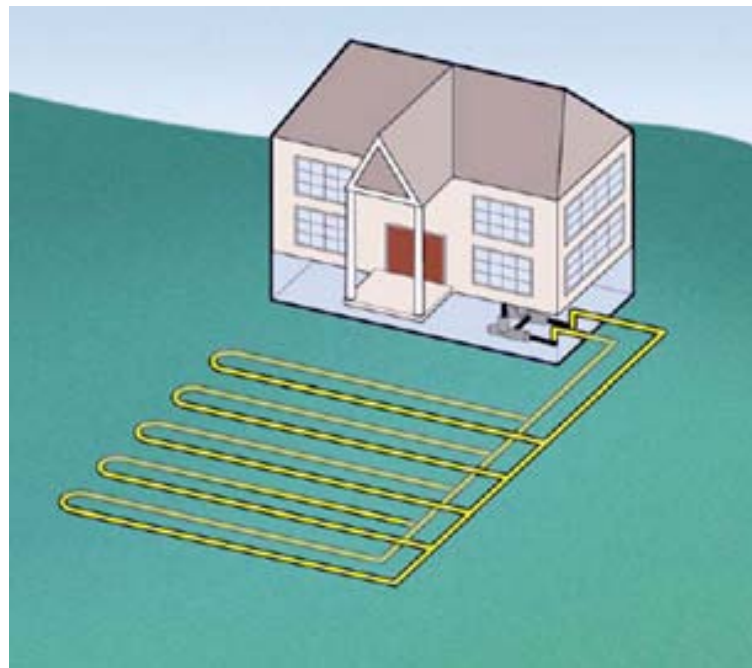


Figura 2.15 - Sistema passivo de arrefecimento através do solo com captação de ar do interior da habitação, Fonte: www.buidipedia.com

2.3.6.2 – Parâmetros que Influenciam a Temperatura que Entra na Habitação

A temperatura à saída do sistema, temperatura à qual o ar entra na habitação – mais quente ou mais frio dependendo da altura do ano que se considere – é função de diversos parâmetros, os quais se apresentam de seguida (Poravou 2008):

- Temperatura de entrada do ar
- Temperatura do solo à profundidade a que os tubos são instalados
- Condutividade térmica dos tubos
- Difusividade térmica do solo
- Velocidade do ar
- Comprimento e Diâmetro dos tubos
- Número de tubos enterrados

2.3.6.3 – Vantagens dos Sistemas Passivos de Arrefecimento Através do Solo

As vantagens apresentadas por estes sistemas assentam no facto da possibilidade de substituição dos aparelhos de ar condicionado, consumidores de larga parte da energia de uma habitação, conseguindo satisfazer as necessidades de conforto térmico, quer de aquecimento quer de arrefecimento, contribuindo para a redução de gases de efeito de estufa na atmosfera, nomeadamente o CO₂, apresentando também a sua enorme simplicidade, quer ao nível de implementação, quer ao nível do seu funcionamento. Possuem um elevado potencial de arrefecimento/aquecimento e o investimento necessário para a sua instalação e manutenção é baixo.

Um estudo de Burton e Fjearem (2004) citado por Poravou (2008), que incidiu sobre o desenvolvimento de um sistema passivo de arrefecimento através do solo numa habitação em Portugal demonstrou que o mesmo proporcionou uma redução nas necessidades de arrefecimento da habitação da ordem dos 95% e o custo médio de instalação por habitação se situou nos 7500€.

2.3.6.4 - Desvantagens dos Sistemas Passivos de Arrefecimento Através do Solo

Algumas desvantagens e problemas associados a estes sistemas prendem-se com a presença de roedores e insectos nos tubos enterrados bem como a acumulação de lixo e poeiras no interior dos tubos devido à acção do vento e outros factores climáticos (Thevenard 2008), no entanto estas desvantagens ou problemas podem ser facilmente ultrapassados com a instalação de filtros e redes anti-roedores à entrada do sistema. Contudo, a principal desvantagem que se observa nestes sistemas é a impossibilidade da sua instalação em cidades e alguns arredores, pois a necessidade de algum espaço exterior leva a que estes sistemas sejam inviáveis nos grandes espaços citadinos sendo a sua implementação viável apenas em meios rurais ou zonas suburbanas que possuam uma quantidade significativa de espaço exterior (Poravou 2008).

2.3.7 – Arquitectura Bioclimática

Construir um edifício bioclimático é criar um sistema no qual o meio envolvente, com todas as interacções a que está sujeito, como mudanças sazonais e/ou diárias do clima etc., e as exigências dos futuros ocupantes, variando estas no tempo e no espaço, são tidas em consideração. É essencial perceber os aspectos climáticos que influenciam o edifício e o seu interior bem como possuir uma boa percepção do que constitui o conforto e o desconforto humano e como estas sensações podem ser afectadas por mudanças no clima (Achard, et al. 1993).

A definição de conforto térmico é algo complexa uma vez que é dependente de factores psicológicos e fisiológicos, os quais variam de pessoa para pessoa, e apresenta um

carácter dinâmico, pois o ser humano possui a capacidade de se adaptar às variações das condições térmicas que o envolvem. No entanto, sabe-se que o conforto térmico é afectado, na maioria dos casos, por parâmetros de índole pessoal e por parâmetros de índole ambiental. Os parâmetros de índole pessoal estão relacionados com a actividade física, actividade metabólica, vestuário etc., sendo totalmente dependentes dos utilizadores dos edifícios e da sua actividade e os parâmetros de índole ambiental relacionados com a temperatura do ar, humidade relativa do ar, velocidades dos fluxos de ar, etc., sendo estes dependentes da qualidade da envolvente do edifício (Gonçalves e Graça 2004).

No que diz respeito aos aspectos climáticos, é essencial compreender a geometria solar ao longo do ano, conhecer as temperaturas ambientes bem como as amplitudes térmicas de cada local, conhecer os níveis de radiação solar de cada local, entre outros parâmetros, no sentido de conceber um edifício que se adapte de forma eficiente ao clima da sua envolvente. O aproveitamento da energia solar em termos de construção, através da utilização dos princípios da arquitectura bioclimática, permite nos edifícios de habitação uma forte redução das necessidades de energia para fins de climatização, eliminando a necessidade de se recorrer a processos mecânicos para a obtenção de condições interiores de conforto ou próximas destas (Roriz, et al. 2010).

Neste sentido, faz-se necessário a adopção de estratégias que visem a construção eficiente de edifícios que consigam proporcionar aos seus utilizadores condições interiores de conforto térmico e bem-estar.

2.3.7.1 – Estratégias Bioclimáticas

As estratégias bioclimáticas não são mais que um conjunto de regras ou medidas de carácter geral, que tem como objectivo principal influenciar a forma como o edifício é construído bem como os seus processos, sistemas e componentes usados na sua construção. As estratégias a adoptar para um determinado edifício ou projecto são função de diversas variáveis tais como as condições climáticas do local (radiação, temperatura ambiente, amplitude térmica, etc.), do próprio edifício e consequentemente do modo de ocupação e utilização do mesmo, com o intuito de promover um bom desempenho em termos de adaptação ao clima (Gonçalves e Graça 2004).

Tendo em conta as condições climáticas do local, as quais influenciam as necessidades predominantes de aquecimento e arrefecimento do edifício, pode-se considerar 2 estratégias a seguir (Achard, et al. 1993) e (Gonçalves e Graça 2004), as quais se descrevem na tabela 2.4

Tabela 2.4 – Estratégias Bioclimáticas consoante o tipo de clima do local

Tipo de Clima	Estratégia
Clima Frio ou Inverno	Maximização dos ganhos de calor (ganhos solares), providenciando uma boa distribuição do calor, uma acumulação adequada ou armazenamento de energia na estrutura do edifício (fazendo uso de materiais com elevada massa inercial), uma redução das perdas de calor (perdas por infiltração e condução, recorrendo a materiais isolantes) e simultaneamente promover uma ventilação natural suficiente.
Clima Quente ou Verão	Minimizar os ganhos de calor (ganhos solares), evitando o sobreaquecimento do edifício (por meio de sombreamentos artificiais ou naturais) e optimização da ventilação natural promovendo também o arrefecimento por evaporação e radiação.

Para além das duas estratégias mencionadas anteriormente, pode juntar ainda a maximização da iluminação natural, contribuindo, assim, para níveis de poupança energética mais elevados.

Como referido anteriormente, as estratégias bioclimáticas a aplicar a um edifício ou projecto estão dependentes das condições climáticas de cada local. Neste sentido, criou-se em Portugal o regulamento das características de comportamento térmico em edifícios (RCCTE) regulado pelo Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril, cujo objectivo principal é o estabelecimento dos limites mínimos de conforto térmico no interior dos edifícios e o controlo das perdas energéticas do mesmo, o qual divide o país em três zonas climáticas distintas, sendo a zona “I3” a zona climática de Portugal com o inverno mais rigoroso e a zona “V3” a zona climática de Portugal com o verão mais rigoroso (Silva e Ramos 2003). Existem ainda as zonas climáticas “I1” e “I2” e “V1” e “V2”. Tendo estes factos em consideração, a escolha da estratégia a aplicar deve ser munida do tipo de zona referida no RCCTE.

2.3.7.2 – Princípios Gerais de Aplicação do Solar Passivo

Os princípios gerais de aplicação carecem dos conhecimentos referidos anteriormente bem como o conhecimento dos materiais disponíveis no mercado para aplicação no edifício. O cumprimento destes princípios permitem garantir, no que diz respeito à parte construtiva, uma boa qualidade térmica do edifício e como consequência menores gastos energéticos e uma menor poluição ambiental que lhe é associada (Roriz, et al. 2010). Os princípios gerais de aplicação do solar passivo são descritos seguidamente:

- Orientação da fachada da habitação com maior dimensão no sentido Sul. Se tal não for possível é desejável a orientação no quadrante Este-Oeste.
- Escolher o tipo de envidraçados e a sua orientação, de forma a minimizar os ganhos solares no verão e a maximizá-los no inverno.
- Colocação de sombreamentos nos envidraçados orientados a sul garantindo ganhos solares no inverno e sombreamento no verão.
- Utilização de massas elevadas (materiais com elevada massa inercial) em paredes, chão e tecto.
- Utilização de luz natural (luz do dia) para fins de iluminação.
- Redução das perdas térmicas, utilizando boa vedação de janelas e portas e evitando a existência de aberturas não controladas.
- Recurso a ventilação natural e arrefecimento radiativo nocturno.
- Evitar que a exposição sul do edifício esteja sujeito a sombreamentos devidos a objectos próximos (edifícios, árvores de folha perene, etc.).

2.3.7.3 – Classificação dos Sistemas Solares Passivos nos Edifícios

Os sistemas solares passivos nos edifícios são sistemas compostos por dispositivos construtivos integrados nos edifícios aquando da sua construção, ou posteriormente em fases de remodelação, cujo objectivo assenta na contribuição para o aquecimento e arrefecimento natural do mesmo. No caso do aquecimento (Inverno), estes sistemas têm a função de maximizar a captação da radiação solar através de vãos envidraçados bem orientados e dimensionados, aos quais, geralmente, também se associam elementos com elevada massa inercial, que permitirão a acumulação da energia solar e a posterior utilização. Estes dispositivos são denominados de sistemas de aquecimento passivo e classificam-se de acordo com o descrito na tabela 2.5 (Silva e Ramos 2003) (Roriz, et al. 2010) e são ilustrados pelas figuras 2.16, 2.17 e 2.18.

Tabela 2.5 – Classificação dos sistemas de aquecimento passivo

Classificação	Descrição
Sistema por Ganhos Directos	Sistema no qual a radiação solar incide directamente no espaço a aquecer. É o método mais simples e que ocorre, naturalmente, em todos os edifícios actuais.
Sistema por Ganhos indirectos	Sistema no qual a radiação não incide directamente no espaço a aquecer, mas sim numa massa acumuladora como sejam paredes de trombe ou tubos de água.
Sistema de Ganho Isolado	Sistema no qual a radiação solar incide numa zona envidraçada contígua ao edifício como uma sala solar ou solário.
Sistema de Envolvente Activa	Sistema no qual existe regulação do

sombreamento da envolvente exterior, captação de radiação solar (ou calor) da dupla envolvente e ventilação natural.

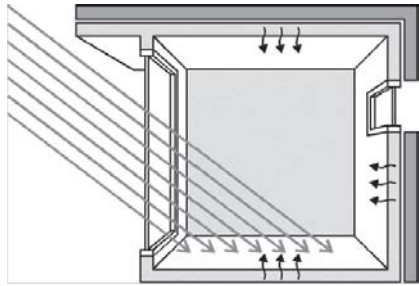


Figura 2.16 - Sistema de ganho directo, Fonte: Silva, J; Ramos, A, 2003

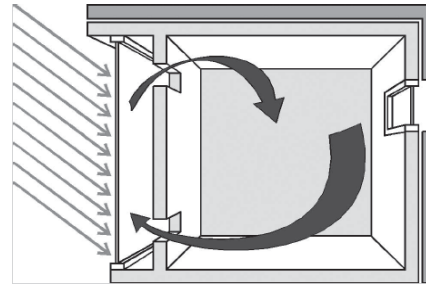


Figura 2.17 - Sistema de ganho indirecto, Fonte: Silva J; Ramos A, 2003

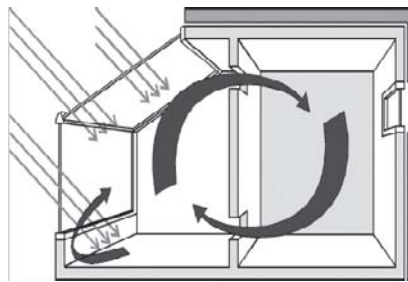


Figura 2.18 - Sistema de ganho isolado, Fonte: Silva J; Ramos A, 2003

No caso do arrefecimento (Verão), estes sistemas tem a função de tirar o máximo partido das fontes frias como por exemplo o ar exterior, que em determinadas horas do dia (noite e manhã) apresenta uma temperatura inferior à temperatura interior dos próprios edifícios. Estes dispositivos são denominados de sistemas de arrefecimento passivo e classificam-se da seguinte forma

- Ventilação Natural
- Arrefecimento Radiativo
- Arrefecimento evaporativo
- Arrefecimento pelo Solo

Um estudo de Fillipín et al. (2010) para duas habitações bioclimáticas durante o período 2001-2008 concluiu que para uma temperatura média interior de 22°C as habitações conseguem poupar cerca de 50 a 75% do consumo de energia para fins de aquecimento interior. O mesmo estudo revela que quando comparadas com habitações tradicionais ou convencionais, ou seja, habitações da mesma tipologia mas com área de envidraçados menor e sem isolamento térmico, as habitações bioclimáticas poupam 75% de energia.

2.4 – ESTADO DA ARTE

Foi a partir da década de 70 que as energias renováveis voltaram a suscitar um enorme interesse por parte de empresas públicas e privadas, governos – que começaram a incentivar contribuindo financeiramente para o uso destas tecnologias – centros de pesquisa e universidades, etc., pois até então, o uso destas tecnologias estava confinada à indústria aeroespacial não lhe sendo atribuída a importância que esta merecia. Com este aumento do interesse e do conhecimento face a tecnologias de aproveitamento de energias endógenas e renováveis surge a necessidade de desenvolver ferramentas capazes de apoiar o projectista, desenhador, utilizador, etc., no seu correcto dimensionamento e capazes de fornecer perspectivas económicas que ajudem na decisão de investimento nestas tecnologias. Tais ferramentas necessitam de incorporar modelos matemáticos dos componentes do sistema, conhecer as possíveis situações que possam ocorrer nos sistemas e contar com informações das condições meteorológicas dos diversos locais (L. Vera 2004).

Existem, actualmente, no mercado diversas aplicações capazes de efectuar simulações e proporcionar análises energéticas e económicas ao utilizador, no entanto, após a revisão das aplicações indicadas, as quais serão referidas seguidamente, verificou-se que a maioria é orientada para desenhadores e projectistas destes sistemas. A ferramenta informática desenvolvida na presente dissertação difere substancialmente destes casos por destinar-se especificamente a habitações unifamiliares, orientada a todos os utilizadores, independentemente dos conhecimentos técnicos e específicos que possuam sobre cada tecnologia.

2.4.1 – Revisão das Aplicações Disponíveis, Actualmente, no Mercado

A revisão das aplicações informáticas é baseada em pesquisa na internet, (L. Vera 2004) e (Argul, et al. 2004). Os resultados obtidos são os expostos de seguida.

GREENIUS (www.f1.htw-berlin.de/studiengang/ut/downloads/greenius/index.html) – é uma ferramenta informática de simulação de sistemas solares, térmicos, fotovoltaicos, e sistemas eólicos. Aplicação direccionada para projectistas. Requer como dados de entrada a localização geográfica, condições meteorológicas, curvas de carga, tipo e tamanho das tecnologias renováveis utilizadas e horários de utilização.

HOMER (<http://analysis.nrel.gov/homer>) – é um programa desenvolvido pelo “National Renewable Energy Laboratory” que faz a análise de sistemas híbridos. Consiste num modelo de optimização de desenhos que determinam a configuração óptima do sistema seleccionado e as estratégias de gestão de cargas minimizando os custos de instalação e exploração de cada instalação particular.

HYBRID2– é uma aplicação informática desenvolvida pelo “National Renewable Energy Laboratory” em parceria com a Universidade de Massachusetts e financiado pelo

departamento de energia dos EUA. Permite a realização de simulações económicas e de comportamento energético a longo prazo de sistemas formados por geradores eólicos, grupos diesel, geradores fotovoltaicos, baterias e diversos inversores. Incorpora uma base de dados composta de diversos módulos fotovoltaicos, geradores eólicos, baterias, inversores etc.

TRNSYS (<http://sel.me.wisc.edu/trnsys>) – é uma ferramenta de simulação desenvolvida na Universidade de Wisconsin que permite aos utilizadores definir os componentes do sistema e como estes estão interligados. Foi originalmente desenvolvido para o estudo e simulação de sistemas solares térmicos tendo sido, ao longo dos anos, actualizado, sob a forma de extensões, e actualmente permite a simulação de sistemas solares térmicos, fotovoltaicos e sistemas eólicos.

SOMES (<http://www.chem.uu.nl/nws/www/nws.html>) – é uma aplicação informática holandesa, desenvolvida pelo Departamento de Ciência e Tecnologia da Universidade de Utrecht. Foi desenhado para modelação de pequenas instalações autónomas ou sistemas híbridos, formadas por painéis fotovoltaicos, baterias, geradores eólicos, motores diesel e inversores. Os resultados oferecidos por esta aplicação visam o fornecimento dos fluxos energéticos acumulados do sistema seleccionado, duração dos períodos com deficit energético bem como prestações técnicas e económicas de cada componente e uma avaliação económica do sistema completo.

RETSCREEN (<http://retscreen.gc.ca>) – é uma aplicação baseada em folhas de cálculo Excel para análise de projectos de energias renováveis desenvolvido pela “Natural Resources Canadá” com a contribuição de diversos especialistas, indústria e universidade. Permite identificar as oportunidades mais viáveis do ponto de vista energético e económico. É uma ferramenta de suporte à decisão e permite a avaliação da produção de energia, os custos durante o tempo de vida, a redução das emissões, análise financeira e de risco para vários tipos de tecnologias eficientes ou renováveis.

SOLINVEST (www.luxea.de/produkte/solinvest) – é uma ferramenta informática especialmente orientada para simulações de sistemas de energias renováveis nos países da Europa central, como Alemanha, Áustria, Suíça, Luxemburgo, Holanda e Bélgica e que facilita a tomada de decisões sobre o planeamento económico de instalações fotovoltaicas. Oferece também a possibilidade de análise das reduções de emissões de CO₂ devidas à instalação e utilização do sistema em causa.

PV PLANNER – é uma ferramenta analítica baseada em folhas de cálculo. Permite uma análise económica de aplicações fotovoltaicas ligadas à rede. Consegue realizar estudos económicos de instalações fotovoltaicas sob diferentes configurações tecnológicas, recursos disponíveis e políticas financeiras, retornando informação sobre os tempos de retorno de capital investido e factores de custo-benefício.

PV - DESIGN PRO (www.mauisolarsoftware.com) – é um programa que faz parte integrante de um conjunto de aplicações solares denominada “Solar Design Studio” e que, em conjunto com o PVSYST, constitui uma das ofertas mais potente disponível, actualmente, no mercado para simulação de sistemas fotovoltaicos. Foi desenvolvido pela empresa “Maui Solar Energy Software Corporation” e incorpora os últimos modelos para cálculo solar fotovoltaico desenvolvidos pela “Sandia National Laboratories”. Permite simular sistemas fotovoltaicos isolados e ligados à rede eléctrica e instalações fotovoltaicas de bombagem directa com intervalos horários ao longo de um ano. Contêm uma base de dados meteorológica dos EUA, mas também um gerador automático que obtém os dados meteorológicos horários a partir de dados mensais inseridos pelo utilizador. Proporciona ao utilizador resultados técnicos e financeiros.

PVF- CHART (www.fchart.com) – é uma aplicação informática de análise e dimensionamento rápido de sistemas fotovoltaicos autónomos ou conectados à rede. Foi desenvolvido na Universidade de Wisconsin pelo “Solar Energy Laboratory”. Permite a definição de instalação de painéis fotovoltaicos fixos ou com seguimento de 1 ou 2 eixos bem como concentradores solares. O programa inclui uma base de dados meteorológicos de 300 locais, os quais podem ser alargados pelo utilizador. Realiza uma análise económica do sistema seleccionado e apresenta o “cash-flow” esperado durante todo o tempo de vida útil do projecto.

SOLTERM – é uma ferramenta informática desenvolvida pelo INETI em Portugal. Permite calcular e dimensionar sistemas solares térmicos e fotovoltaicos. Dispõe de uma base de dados climáticos com uma resolução espacial de aproximadamente 30 Km possibilitando de igual modo a geração de Anos meteorológicos de referência. Fornece resultados técnicos bem como uma análise financeira do sistema seleccionado e uma estimativa de emissões de gases de efeito de estufa evitados com factores compatíveis com cenários nacionais para o primeiro período de cumprimento do protocolo de Quioto.

No que diz respeito aos sistemas de águas pluviais encontraram-se os seguintes resultados:

RAINCYCLE (<http://www.sudsolutions.co.uk/>) – é uma aplicação informática poderosa no que diz respeito à simulação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e foi desenvolvida pela empresa “SUD Solutions” Permite a simulação hidráulica do sistema bem como os fluxos de água associados. Realiza cálculos de análise de custos durante todo o tempo de vida útil do sistema bem como os benefícios económicos devido ao uso do sistema e períodos de retorno do capital investido.

SIMTANKA (<http://homepage.mac.com/vsvyas/science.html#simtanka>) – é uma ferramenta informática de simulação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e foi desenvolvida pela “Ajit Foundation” na Índia. O programa tem em conta as flutuações nos dados pluviométricos de cada localização dos quais o sistema de aproveitamento de água

pluvial está dependente e efectua uma simulação tendo em vista a mínima área de captação necessária e o volume mínimo do tanque de armazenamento a instalar.

Existem ainda muitas mais aplicações disponíveis no mercado, umas mais orientadas para o cálculo e dimensionamento de sistemas, outras mais para a análise económica dos sistemas. A tabela 2.6 ilustra outras ferramentas encontradas na revisão efectuada fazendo uma breve referência à sua orientação e entidade ou empresa que as desenvolveu. Salienta-se o facto, após a pesquisa efectuada, da não existência, ou que não se encontrou, qualquer tipo de ferramenta informática que englobasse na mesma aplicação as tecnologias de aproveitamento de energias renováveis que se implementaram na aplicação desenvolvida.

Tabela 2.6 – Revisão de softwares disponíveis, actualmente, no mercado para sistemas de energias renováveis

Software	Orientação	Desenvolvido por:
<i>PV FORM</i>	Optimização económica de projectos fotovoltaicos	Sandia National Laboratories
<i>WATSUN – PV</i>	Simulação de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos	Universidade de Waterloo, Watsun Simulation Laboratory
<i>PV SYST</i>	Simulação de sistemas fotovoltaicos autónomos e conectados à rede	Centro de Estudos Energéticos da Universidade de Génova
<i>SOLDIM</i>	Desenho e planeamento de sistemas fotovoltaicos autónomos e ligados à rede	
<i>PVS</i>	Planificação de sistemas fotovoltaicos autónomos e conectados à rede	Fraunhofer-Institut for Solar Energy-Systems
<i>PV-WATTS</i>	Cálculo da Energia Produzida por sistemas fotovoltaicos ligados à rede	National Renewable Energy Laboratory
<i>PV SOL</i>	Planificação análise e simulação de sistemas fotovoltaicos isolados ou ligados à rede	Valentin.de
<i>T SOL</i>	Cálculo e dimensionamento de sistemas solares térmicos	Valentin.de
<i>PV CALC</i>	Desenho rápido de sistemas fotovoltaicos isolados e ligados à rede	
<i>ASHLING</i>	Análise e optimização de sistemas fotovoltaicos	École des Mines de Paris em colaboração com National Microelectronics Research Centre
<i>HERMINES PV</i>	Orientado a trabalho de laboratório e investigação	École des Mines de Paris em colaboração com National Microelectronics Research Centre
<i>SOLAR SIZER</i>	Cálculo de sistemas PV para aplicações domésticas	Center for Renewable Energy and Sustainable Technology em

		colaboração com Solar Energy Research and Education Foundation
<i>POLYSUN</i>	Cálculo e dimensionamento de sistemas solares térmicos	
<i>STORM.XXL</i>	Modelação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, bacias hidrográficas etc.	The Storm Water Experts, Ingenieurgesellschaft PROF. DR. Sieker MBH
<i>RAINWATER TANK PERFORMANCE CALCULATOR</i>	Cálculo da eficiência de sistemas de aproveitamento de águas pluviais consoante o volume de tanque introduzido.	

CAPÍTULO 3- Modelização

O presente capítulo tratará dos modelos matemáticos de cada tecnologia com vista ao desenvolvimento da aplicação informática. Para a aplicação dos referidos modelos, a habitação será vista como uma “caixa negra”. Todo o desenvolvimento assentará na premissa de que se trata da decisão de aquisição e instalação de uma ou várias tecnologias de aproveitamento de energias renováveis numa habitação unifamiliar. Serão apresentados vários modelos, um para cada tecnologia considerada. Estes modelos servirão de base à construção do aplicativo informático.

A abordagem de um qualquer problema, quer seja um problema matemático, um problema de investigação operacional, um problema da vida real, etc., tem associado uma primeira fase designada de fase de modelização, a qual pretende modelizar um sistema (s) e/ou modelizar um processo (s).

Na elaboração de um modelo que permita a simulação do comportamento ou funcionamento de um qualquer tipo de sistema o objectivo é, geralmente, entender as variáveis em jogo desse sistema e posteriormente criar uma ferramenta que permita estudar o comportamento desse sistema em condições limite ou em condições conhecidas à partida, sem ter que submeter o sistema às condições reais, uma vez que não raras vezes, não é possível ou os encargos associados a uma análise experimental no terreno se tornam demasiado elevados.

Actualmente, conforme mencionado anteriormente, existem diferentes tecnologias renováveis passíveis de serem integradas numa habitação. Na modelização do sistema global a utilizar, a habitação será vista como uma “caixa negra” na qual serão integrados vários sistemas, considerando como sistema cada tecnologia renovável e apresenta-se o modelo matemático que rege o comportamento da respectiva tecnologia sendo que no final se fundem todos os modelos “singulares” num único modelo, entendido como o modelo geral o qual conseguirá reportar os resultados económicos a que a aplicação a desenvolver se propõe. A figura 3.1 ilustra o descrito anteriormente.

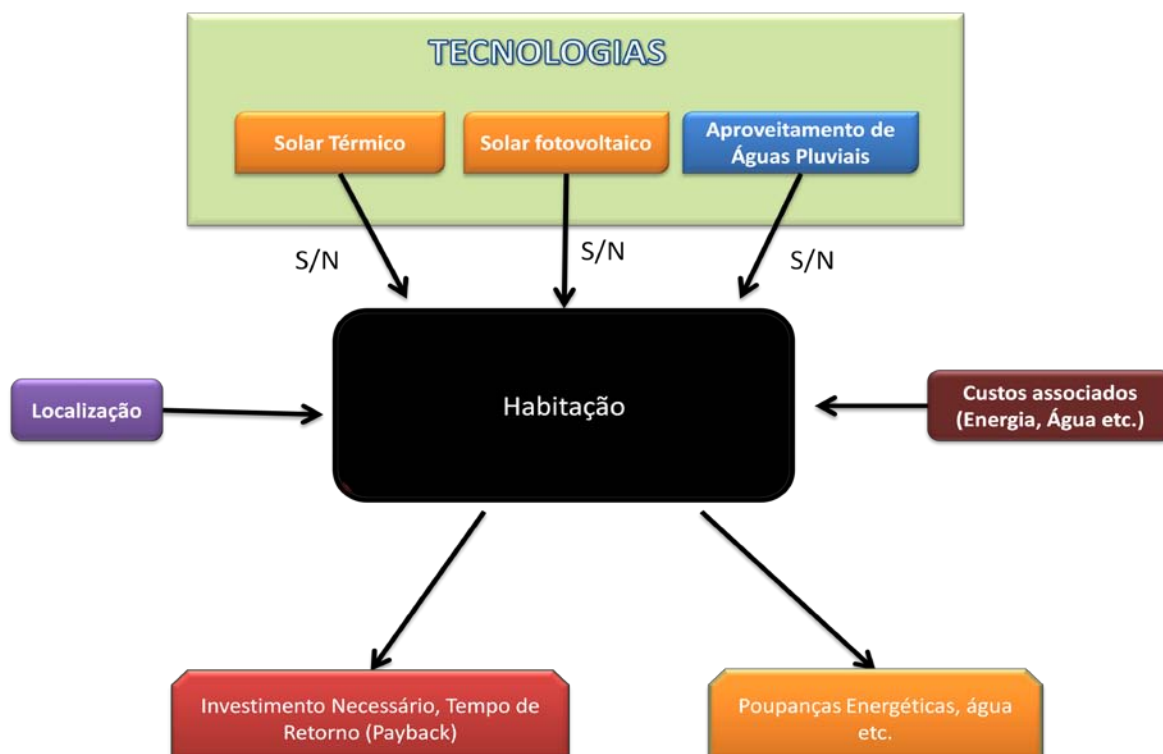


Figura 3.1 - Exemplo de um Diagrama de Blocos do modelo a desenvolver

3.1 – MODELO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Admite-se, desde logo, que os sistemas fotovoltaicos são sistemas para ligação à rede, deixando em aberto a possibilidade futura de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos autónomos e/ou sistemas híbridos. Nos componentes a integrar nestes sistemas, admite-se, de igual modo, que os inversores disponíveis são equipados com tecnologia de seguimento do ponto de máxima potência (MPPT) e que o sistema funciona no seu ponto de potência máxima para as várias condições de radiação e temperatura disponíveis nos vários locais.

A opção de dimensionar, apenas, sistemas fotovoltaicos ligados à rede foi tomada tendo por base o potencial de desenvolvimento que estes sistemas apresentam actualmente e apresentarão num futuro próximo no que diz respeito à produção de energia de forma descentralizada, contribuindo de alguma forma para o melhor aprovisionamento e segurança no abastecimento de energia às habitações, para além de que, não precisando estes sistemas de acumuladores, pois a rede eléctrica funciona como um grande acumulador de energia recebendo toda a energia produzida pelo sistema fotovoltaico durante o dia e fornecendo energia durante a noite à habitação, torna estes sistemas mais económicos.

O presente modelo será constituído por diversos módulos, conforme ilustrado na figura 3.2. Sendo assim, tendo em conta a tipologia dos sistemas descritos anteriormente e de acordo com o Decreto-Lei nº 363/2007 de 2 de Novembro (que estabelece o regime jurídico aplicável à produção de electricidade por intermédio de unidades de micro-produção) são facultadas ao utilizador duas opções. Aquisição de um sistema fotovoltaico para ligação à rede eléctrica cuja potência não ultrapasse os 50% da potência contratada até um limite de 3,68 kWp sendo atribuído, neste caso, um regime de remuneração bonificado, ou, aquisição de um sistema fotovoltaico para ligação à rede eléctrica e cuja potência não ultrapasse os 50% da potência contratada até um limite de 5,75 kWp enquadrando-se, neste caso, num regime de remuneração geral (Hora 2010).

De referir, que caso se opte pela instalação de um sistema fotovoltaico para ligação à rede de 3,68 kWp, enquadrado no regime bonificado, a legislação portuguesa actual obriga à instalação de colectores solares térmicos para aquecimento de água sanitária da instalação de consumo com 2 m² de área de colector. Este ponto será devidamente integrado no modelo global, pelo que não será tido em conta no desenvolvimento do presente modelo matemático.

Em suma, o modelo será baseado e desenvolvido tendo por base os dois regimes de remuneração existentes e respectivos limites de potência, para ligação dos sistemas fotovoltaicos à rede e será repartido por vários módulos os quais são ilustrados pela figura 3.2.

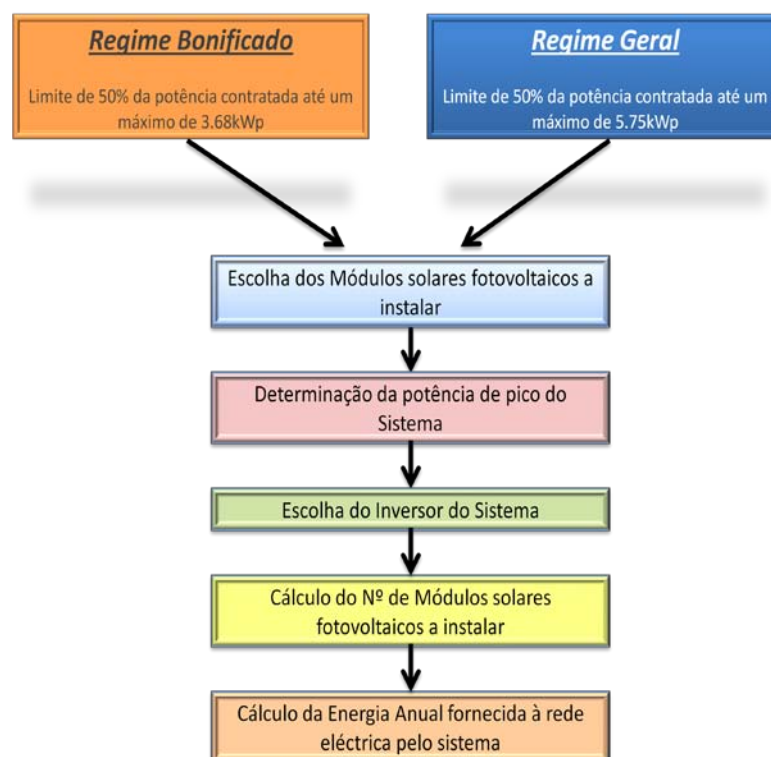


Figura 3.2 - Fluxograma dos blocos constituintes do modelo do sistema solar fotovoltaico para ligação à rede eléctrica

3.1.1 – Determinação da Potência de Pico do Sistema

A potência de pico do sistema fotovoltaico corresponde à potência máxima que pode ser instalada no local escolhido para instalação do sistema. Tal potência pode ser obtida consoante a vontade do utilizador e tipo de regime que este pretende para produção de energia. Conforme descrito anteriormente, para ambos os casos a potência máxima a instalar está limitada a 50% da potência contratada variando apenas os níveis máximos de potência, 3,68 kWp para o regime de remuneração bonificado e 5,75kWp para o regime de remuneração geral. Assim, a potência de pico a instalar, expressa em kW, resulta em

$$Pp_{inst} = P_{cont} \times 0,5 \quad (1)$$

onde Pp_{inst} representa a potência de pico, em kWp, que o sistema fotovoltaico deve possuir, P_{cont} a potência contratada ao comercializador de último recurso, dada em kVA, e a qual pode ser consultada na factura de energia, e 0,5 traduz o limite dos 50%. No entanto, podem ser seguidos outros critérios como a área disponível para instalação do sistema e tipo de tecnologia a instalar ou ter em conta o rendimento do módulo solar fotovoltaico.

Actualmente, estão disponíveis várias tecnologias fotovoltaicas para produção de energia eléctrica merecendo maior destaque a tecnologia Monocristalina, Policristalina e tecnologia baseada em silício Amorfo. Com este conhecimento, e tendo em conta a não possibilidade de exceder os limites referidos anteriormente, sob pena do sistema não se enquadrar nos referidos regimes remuneratórios, e optando pelo critério da Área disponível

para instalação e tipo de tecnologia, a potência de pico a instalar, dada em kWp, é traduzida por

$$Pp_{inst} = \frac{A_{disp}}{A_{necess/kWp}} \quad (2)$$

onde, Pp_{inst} representa a potência de pico a instalar em kWp, A_{disp} a área, em m², disponível no local para instalação do sistema e $A_{necess/kWp}$ a área de módulos, dada em m², correspondente a 1 kWp estando esta dependente do tipo de módulo e tecnologia seleccionada e/ou escolhido. A área de módulos pode ser consultada e calculada através dos dados fornecidos pelo fabricante referentes ao comprimento e largura do módulo.

3.1.2- Escolha do Inversor

Dependendo da dimensão de cada sistema, podem ser adoptadas várias tipologias de inversores que vão desde a instalação de um único inversor para o sistema, sendo esta tipologia denominada como tipologia de inversor central, a instalação de um inversor por cadeia de módulos e a instalação de módulos já com inversores integrados. Na prática, segundo Roriz, et al. 2010, em instalações cuja potência não ultrapasse os 6 kWp, caso onde os sistemas a dimensionar se enquadram, e onde a área de implementação possua uma inclinação e orientação uniformes, livre de sombreamentos, a utilização da tipologia de inversor central é aconselhável (Roriz, et al. 2010).

A potência de funcionamento do inversor é determinada tendo em conta o valor da potência de pico instalada. Contudo, o cálculo da potência de pico a instalar é efectuado com base nas condições de teste padrão fornecidas pelos fabricantes (STC) as quais, na realidade, raramente se verificam pelo que, a potência de funcionamento do inversor a adoptar, em kWp, é cerca de 5 a 10 % inferior o que se traduz em

$$P_{finv} = 0,9 \text{ a } 0,95 \times Pp_{inst} \quad (3)$$

onde P_{finv} representa a potência de funcionamento do inversor, em kWp, 0,9 e 0,95 as reduções de 5 a 10% que se podem efectuar devido às condições STC raramente se verificarem e Pp_{inst} representa a potência de pico a instalar, dada em kWp. Convém ainda referir, que apesar da potência do inversor poder tomar valores da ordem dos 5 a 10% inferiores à potência de pico instalada, é estritamente necessário a verificação dos valores máximos da corrente de entrada e da tensão do inversor garantido que estes nunca devem ser excedidos (Freitas 2008) (Roriz, et al. 2010). Esta verificação é apresentada mais à frente.

3.1.3 – Estimativa do Número de Módulos a Instalar

Após a escolha do módulo solar fotovoltaico mais adequado e do inversor a instalar ter sido efectuada, procede-se ao cálculo do número de módulos necessário para instalação.

Este cálculo fornece um valor aproximado ou uma primeira estimativa do número de módulos necessários, pois estes podem sofrer algumas alterações devidas a diversos factores os quais terão algum impacto na produção de energia anual e consequentemente nos benefícios económicos que daí advêm. Assim sendo, o número inicial de módulos solares fotovoltaicos a instalar é dado pela equação

$$N^{\circ}_{\text{módulos}} = \frac{Pp_{\text{inst}}}{Pp_{\text{módulo}}} \quad (4)$$

onde Pp_{inst} representa a potência de pico a instalar no local, dada em kWp, e $Pp_{\text{módulo}}$ representa a potência de pico do módulo seleccionado.

A adopção de um inversor central para o sistema faz com que a distribuição dos módulos tenha que ser igual, ou seja, o número de módulos a ligar em série em cada fileira tem de ser igual. Uma vez que o sistema funciona no seu ponto de máxima potência, a tensão do gerador fotovoltaico terá de situar-se entre os limites inferior e superior da gama de tensões MPP do inversor, isto é, a gama de tensões entre as quais o inversor seguirá o valor MPP da fileira de módulos. Também a tensão de circuito aberto terá de ser tida em conta e deverá situar-se abaixo da tensão máxima de entrada do inversor (Roriz, et al. 2010). Como a tensão do sistema é dada pelo número de módulos ligados em série numa fileira, compreende-se que o número de módulos a instalar esteja dependente das características do inversor escolhido, impondo este, o número máximo e mínimo de módulos que se poderão ligar em série e em paralelo, podendo resultar daqui um maior ou menor número de módulos solares fotovoltaicos a instalar. Considera-se o número de módulos obtido pela equação (4) como referência uma vez que este satisfaz a potência de pico do sistema e posteriormente, procede-se aos ajustes necessários, cálculo do número máximo e mínimo de módulos solares fotovoltaicos ligados em série e em paralelo, número de módulos a instalar que, geralmente, será inferior ao número de módulos tomado como referência, pois o valor tomado como referência representa o limite máximo da potência de pico que se poderá instalar.

3.1.4 – Cálculo do Número Máximo e Mínimo de Módulos Ligados em Série

Para a obtenção do número máximo de módulos solares fotovoltaicos ligados em série é necessário ter em conta a tensão aos terminais do módulo, ou painel, quando este é submetido a temperaturas baixas, caso da estação fria – inverno – em Portugal. Roriz, et al. (2010) assumem que para este cálculo toma-se como referência uma temperatura do módulo, ou painel, de -10°C . Isto, porque para baixas temperaturas a tensão de funcionamento do módulo aumenta até ao limite máximo da tensão de circuito aberto. Conforme dito anteriormente, esta tensão terá de permanecer abaixo da tensão máxima de entrada do inversor, pelo que o número máximo de módulos ligados em série traduz-se em

$$N^{\circ}_{\text{maxmódulos}} = \frac{V_{DC \text{ máximo}}(\text{inversor})}{V_{OC}(\text{módulo a } -10^{\circ}\text{C})} \quad (5)$$

onde $N^{\circ max}_{módulos}$ representa o número máximo de módulos que compõem o sistema a instalar, $V_{DC\ máximo}(inversor)$ a tensão máxima de entrada do inversor, expressa em Volt e $V_{OC}(módulo\ a\ -10^{\circ}C)$ a tensão de circuito aberto do módulo seleccionado, dada em Volt, para uma temperatura de 10 graus Célsius negativos. O uso da tensão de circuito aberto a uma temperatura do módulo de $-10^{\circ}C$ garante que em nenhuma circunstância, com temperaturas baixas, a tensão da fileira não ultrapassa a tensão máxima de entrada do inversor.

De igual modo, para a obtenção do número mínimo de módulos a ligar em série é necessário recorrer à tensão aos terminais do módulo, ou painel, quando este é exposto a temperaturas e níveis de radiação elevados, caso da estação seca – verão – em Portugal. Roriz, et al. (2010) assumem que para este cálculo se considera uma temperatura de referência de $70^{\circ}C$, pois em Portugal, módulos, ou painéis, instalados em superfícies como telhados, locais ventilados, com a inclinação correcta e sem sombreamento atingem, facilmente ou superam tal temperatura, sendo esta considerada máxima (Roriz, et al. 2010). Isto porque para temperaturas elevadas a tensão aos terminais do módulo, ou painel, é inferior à verificada em condições STC. Conforme referido anteriormente, o sistema funciona no seu ponto de potência máxima e a tensão tem de permanecer dentro dos limites, inferior e superior, da gama de tensões MPP do inversor, pelo que, neste caso, a tensão terá de ser superior à tensão mínima de entrada do inversor. Assim, o número mínimo de módulos solares fotovoltaicos a ligar em série é dado pela equação que se segue

$$N^{\circ min}_{módulos} = \frac{V_{DC\ mínimo}(inversor)}{V_{MPP}(Módulo\ a\ 70^{\circ}C)} \quad (6)$$

onde $N^{\circ min}_{módulos}$ representa o número mínimo de módulos que compõem o sistema a instalar, $V_{DC\ mínimo}(inversor)$ a tensão mínima de entrada do inversor, expressa em Volt e $V_{OC}(módulo\ a\ 70^{\circ}C)$ a tensão de circuito aberto do módulo seleccionado, dada em Volt, para uma temperatura de 70 graus Célsius. As tensões de circuito aberto (V_{oc}) e para o ponto de máxima potência (V_{MPP}) tendo em conta as temperaturas adoptadas, $-10^{\circ}C$ e $70^{\circ}C$ respectivamente, são calculadas recorrendo aos parâmetros característicos dos módulos em condições STC fornecidos pelos fabricantes. Tais parâmetros são, geralmente, facultados em percentagem ou na unidade de mV. Assim, a tensão V_{oc} e a tensão V_{MPP} são dadas pelas equações seguidamente apresentadas e vem expressas em Volt (V)

$$V_{oc}(módulo\ a\ -10^{\circ}C) = \left[1 - \left(35^{\circ}C \times \frac{\Delta V(\%)}{100} \right) \right] \times V_{ocSTC} \quad (7)$$

ou, na eventualidade do fabricante facultar este parâmetro na unidade de mV a equação é ajustada e vem expressa da seguinte forma

$$V_{oc}(módulo\ a\ -10^{\circ}C) = V_{ocSTC} - \left(35^{\circ}C \times \frac{\Delta V(mV)}{1000} \right) \quad (8)$$

$$V_{MPP}(\text{módulo a } 70^{\circ}\text{C}) = \left[1 + \left(45^{\circ}\text{C} \times \frac{\Delta V(\%)}{100} \right) \right] \times V_{MPP\text{ STC}} \quad (9)$$

ou, na eventualidade do fabricante facultar este parâmetro na unidade de mV a equação é ajustada e vem expressa da seguinte forma

$$V_{MPP}(\text{módulo a } 70^{\circ}\text{C}) = V_{MPP\text{ STC}} + \left(45^{\circ}\text{C} \times \frac{\Delta V(\text{mV})}{1000} \right) \quad (10)$$

onde os termos 35 °C e 45 °C resultam do diferencial entre a temperatura ambiente ou STC (25 °C) e as temperaturas adoptadas para o cálculo, ΔV (%) ou (mV) são os coeficientes de temperatura para a tensão de circuito aberto do módulo fotovoltaico seleccionado (representam a variação da tensão em % ou mV em função da temperatura do local) e $V_{OC\text{ STC}}$ e $V_{MPP\text{ STC}}$ são os valores da tensão de circuito aberto e da tensão no ponto de máxima potência em STC do módulo seleccionado.

3.1.5 – Cálculo do Número de Módulos Ligados em Paralelo (Fileiras)

No cálculo do número de módulos em paralelo, ou do número de fileiras, é necessário recorrer, de igual modo, aos parâmetros característicos facultados pelo fabricante do módulo. Neste caso o parâmetro a ter em conta é a corrente do módulo (I_{mod}) ou corrente nominal (I_n) que, tendo em conta que estes funcionam no seu ponto de potência máxima, será a corrente máxima do módulo ($I_{\text{máx}}$). No entanto, é necessário verificar se em algum momento a corrente do módulo, ou painel, ultrapassa o limite máximo da corrente de entrada do inversor. Assim sendo, o número de módulos a ligar em paralelo, ou o número de fileiras é dado por

$$N^{\circ}\text{Fileiras} < \frac{I_{\text{max}}(\text{inversor})}{I_n \text{ ou } I_{\text{módulo}}} \quad (11)$$

onde $N^{\circ}\text{Fileiras}$ diz respeito ao número de módulos a ligar em paralelo no sistema, $I_{\text{max}}(\text{inversor})$ representa a corrente máxima de entrada do inversor, expressa em Ampere e I_n ou $I_{\text{módulo}}$ a corrente máxima do módulo seleccionado, expresso em Ampere. Sabendo o número máximo e mínimo de módulos solares fotovoltaicos a ligar em série e o número de fileiras a instalar, procede-se, então, conforme referido anteriormente, à verificação da compatibilidade dos parâmetros descritos anteriormente com os parâmetros do inversor. Tal verificação traduz-se nas equações ilustradas de seguida as quais vem expressas em Volt (V)

$$V_{MPP}(\text{módulo a } 70^{\circ}\text{C}) = N^{\circ}\text{módulos em série} \times V_{MPP}(\text{módulo a } 70^{\circ}\text{C}) > V_{DC\text{ mínimo}}(\text{inversor}) \quad (12)$$

$$V_{oc}(\text{módulo a } -10^{\circ}\text{C}) = N^{\circ}\text{módulos em série} \times V_{oc}(\text{módulo a } -10^{\circ}\text{C}) < V_{DC\text{ máximo}}(\text{inversor}) \quad (13)$$

$$V_{MPP}(\text{módulo a } -10^{\circ}\text{C}) = N^{\circ}_{\text{módulos em série}} \times V_{MPP}(\text{módulo a } -10^{\circ}\text{C}) < V_{DC \text{ máximo}}(\text{inversor}) \quad (14)$$

Neste ponto, e como geralmente o número de módulos a instalar será menor que o número inicial calculado, é necessário proceder ao ajuste da potência de pico do sistema, dada em kWp, e o número de módulos resultante será considerado para efeitos de cálculo da energia anual fornecida à rede pelo sistema. Assim sendo, a potência de pico a instalar, na realidade, expressa em kW traduz-se em

$$Pp_{inst} = Pp_{Módulos} \times N^{\circ}_{\text{máx de módulos}} \quad (15)$$

3.1.6 – Estimativa da Energia Anual Fornecida à Rede pelo Sistema

Uma vez que na ausência de produção de energia por via dos módulos solares fotovoltaicos, ou por incapacidade de satisfação total da carga a energia necessária pode ser obtida da rede, funcionando a rede como o “banco de baterias” do sistema conforme mencionado anteriormente, o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos para ligação à rede torna-se mais simples comparativamente ao dimensionamento de sistemas autónomos. O modelo matemático para o cálculo da estimativa de energia fornecida à rede eléctrica por via de sistemas fotovoltaicos instalados em habitações é um modelo conhecido como modelo simplificado.

Um estudo de Benatallah, Mostefaoui e Boubekri (2005), que incidiu na comparação de modelos simplificados de cálculo da energia fornecida pelo sistema fotovoltaico com modelos analíticos e/ou estatísticos mais complexos (modelo LLP – Loss-of-Load, por exemplo) concluiu, que para este tipo de sistemas e tendo em conta locais onde os níveis de radiação são mais elevados, situação idêntica à de Portugal, os modelos simplificados se mostram adequados e fornecem resultados precisos e confiáveis, pois confirmou que os resultados obtidos pelos métodos em análise mostraram diferenças muito pequenas para as três habitações em estudos (Benatallah, Mostefaoui e Boubekri 2005).

Para aplicação do modelo simplificado é necessário partir de valores facilmente quantificáveis ou previamente conhecidos, como por exemplo, as características dos módulos solares e as características do inversor fornecidas pelos fabricantes. Nesta perspectiva, as características necessárias aos cálculos são a potência de pico ou potência máxima do módulo e o coeficiente de temperatura para a potência no que diz respeito aos módulos e a tensão máxima de entrada, gama de tensões para MPPT e o rendimento do inversor. De referir que as características dos módulos solares são determinadas em laboratório, em condições STC. Assim, nas equações que se apresentam para este modelo os parâmetros referenciados com a sigla STC dizem respeito aos parâmetros fornecidos pelos fabricantes, ou seja, característicos do módulo fotovoltaico para as condições standard. Regra geral, os fabricantes disponibilizam, de igual modo, parâmetros NOCT afectos ao módulo. A tabela 3.1 ilustra as diferenças entre as duas condições.

Tabela 3.1 – Diferenciação entre condições STC e condições NOCT

Condições STC		Condições NOCT	
Radiação (W/m ²)	1000	Radiação (W/m ²)	800
Temperatura interior do módulo (°C)	25	Temperatura ambiente (°C)	20
		Velocidade do Vento (m/s)	1

O ponto de partida para o cálculo da energia produzida pelo sistema assenta na escolha do tipo de regime remuneratório escolhido (ao abrigo do Decreto-Lei nº 363/2007 de 2 de Novembro), ou seja, no limite máximo da potência DC a instalar, a qual – recapitulando – é 50 % da potência já contratada para a habitação não podendo exceder os 3,68 kW no caso do regime de remuneração bonificado e os 5,75 kW no caso do regime remuneratório geral e no inversor escolhido para o sistema. Com este conhecimento a potência AC é expressa pelo produto (Masters 2004)

$$P_{AC} = P_{dc_{STC}} \times \eta_{conversão} \quad (16)$$

onde P_{AC} diz respeito à potência injectada na rede pelo sistema, dada em kW, $P_{dc_{STC}}$ representa a potência DC igual à potência de pico a instalar do sistema, expressa em kW e $\eta_{conversão}$ diz respeito ao rendimento de conversão de potência DC para potência AC do inversor, dado em %. Admite-se que o rendimento de conversão é composto pelo rendimento do inversor, perdas devidas à sujidade dos módulos e perdas devidas a diferenças nos módulos. Admite-se 5% de perdas devidas à sujidade acumulada na superfície dos módulos solares e 4% de perdas devido a diferenças nos módulos. Contudo a potência DC é a potência dos módulos em condições STC, condições que raramente se verificam pelo que é necessário corrigir este valor para as condições de funcionamento próprias do local. Como a potência varia com a temperatura, ou seja, quanto maior a temperatura menor será a potência é fundamental corrigir esta característica em função deste parâmetro. Este parâmetro vem expresso em graus célsius (°C) e é dado por

$$T_c = T_a + \frac{\delta \times (NOCT - 20^{\circ}C)}{800} \quad (17)$$

onde T_c representa a temperatura interior de funcionamento do módulo, expresso em °C, δ representa a radiação do mês em questão, expressa em W/m², T_a diz respeito à temperatura ambiente, dada em °C e $NOCT$ o valor da temperatura nominal de funcionamento do módulo, dada em °C, fornecido pelo fabricante. De referir que esta equação tem-se mostrado adequada para locais onde a velocidade do vento é baixa, neste caso, inferior ou igual a 1 m/s (Vera, Gasparin e Krenzinger 2008). No caso de locais onde a velocidade do vento é superior a 1 m/s e onde existam dados credíveis dessas velocidades,

deve-se corrigir o valor da temperatura ambiente para contabilizar os efeitos provocados pelo vento (King, Boyson e Kratochvil 2004).

Conhecendo a temperatura de funcionamento do módulo para os diversos meses do ano, pode então proceder-se à correcção da potência DC, a qual é traduzida pela seguinte expressão (Masters 2004)

$$P_{DC} = P_{dc_{STC}} \times [1 - \alpha_{pot} \times (T_c - 25^\circ C)] \quad (18)$$

onde P_{DC} representa a potência DC corrigida para as condições climáticas do local de instalação, expressa em kW, e α_{pot} representa o coeficiente de temperatura para a potência do módulo, dado em %.

A partir da expressão corrigida em função da temperatura de funcionamento do módulo procede-se ao cálculo da potência AC, a qual é dada pela equação(16). Sabendo que a energia é o produto da potência pelo tempo, a energia anual fornecida pelo sistema à rede eléctrica, em kWh/ano, pode ser determinada pela seguinte equação

$$E_{Anual} = P_{AC} \times H_{solpico} \times 365 \quad (19)$$

onde E_{Anual} diz respeito à energia anual produzida pelo sistema e injectada na rede, dada em kWh, P_{AC} a potência de injeção na rede, dada em kW e $H_{solpico}$ representa as horas de sol pico, ou seja, o número de horas em que se tem 1 kW/m². Para as horas de pico a utilizar, admite-se, a partir dos dados de radiação obtidos para cada local e em cada mês, que 1 kWh/ m², como é perceptível, é igual a ter 1 kW numa hora por cada m² de área disponível. Consequentemente, se para um determinado local e mês a radiação disponível for, por exemplo, de 3,25 kWh/m², admite-se 3,25 horas de sol a 1 kW disponibilizado por cada m² de área, ou seja, significa que temos 3,25 horas de sol pico, nesse mês e para determinada localização.

3.2 – MODELO DO SISTEMA SOLAR TÉRMICO

No dimensionamento de sistemas de águas quentes sanitárias, o consumo de água quente é o factor preponderante, variável chave, para o planeamento destes sistemas. Sendo assim, é necessário efectuar o levantamento dos dados referentes a este consumo mas, se tal não for possível, deve-se proceder a uma estimativa do consumo de água quente sendo esta, a mais aproximada possível da realidade. Deve-se, também, ter em consideração a hipótese da instalação de acessórios que permitam a redução de consumos de água, pois baixos consumos de água conduzem a sistemas de energia solar mais pequenos e, logo, a sistemas que necessitam de um investimento menor (IST 2004).

O dimensionamento dos sistemas de AQS é regulado, actualmente, por legislação específica aplicando-se neste caso o Decreto-Lei nº 80/2006 (RCCTE) e o software de cálculo do INETI “SolTerm”. O modelo para esta tecnologia, à semelhança do anterior, é composto

por diversos módulos, ilustrados na figura 3.3, e estará de acordo com o estipulado no referido regulamento.

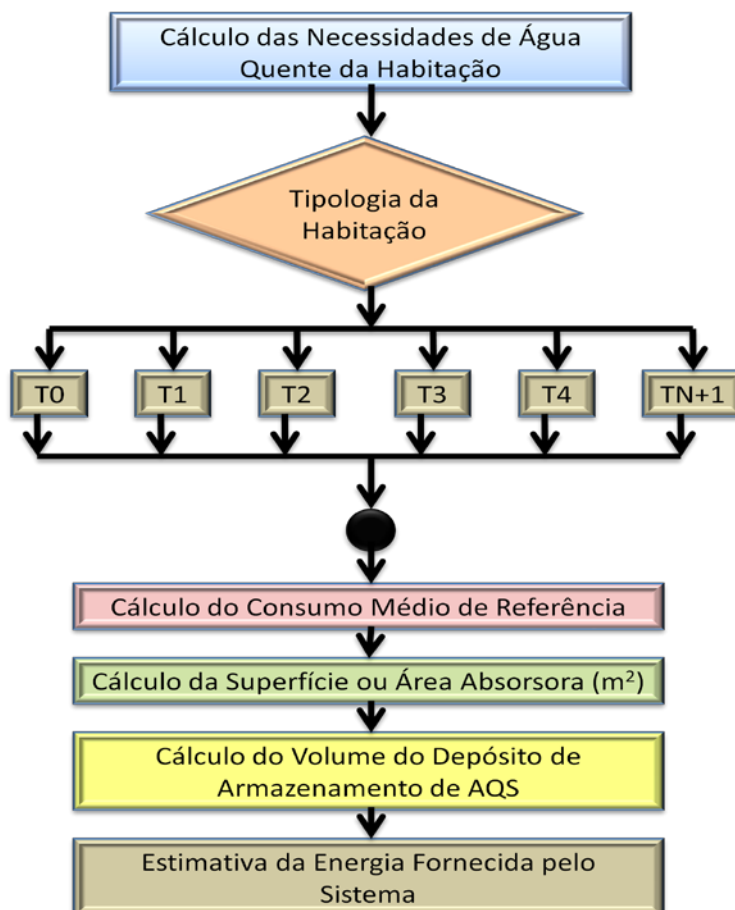


Figura 3.3 – Fluxograma dos blocos constituintes do modelo do sistema solar térmico

Segundo o RCCTE, as necessidades de água quente solar, ou seja, o consumo de água quente em unidades de energia ao ano (kWh/ano) é dado pela seguinte equação

$$C_{maq} = \frac{(C_{Md} \times 4187 \times \Delta T \times N_d)}{3600000} \quad (20)$$

onde C_{maq} representa o consumo médio anual de água quente, ΔT o aumento da temperatura necessária para preparação de água quente, C_{Md} o consumo médio diário de referência e N_d o número anual de dias de consumo de AQS. A constante $\frac{4187}{3600000}$ representa a conversão para a unidade de kWh/ano.

3.2.1 – Consumo Médio de Referência

O consumo médio diário de referência para os edifícios residenciais, estipulado no anexo VI do RCCTE, expresso em Litros/dia, é dado por

$$C_{Md} = 40 \text{ l/dia} \times n^\circ \text{ de Ocupantes} \quad (21)$$

estando o número de ocupantes relacionado com a tipologia de cada fracção autónoma e de acordo com a tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Relação entre o número de ocupantes e a tipologia de cada fracção autónoma para o cálculo do consumo médio diário de referência, adaptado do RCCTE

Tipologia	T0	T1	T2	T3	T4	TN
Nº Ocupantes	2	2	3	4	5	N+1

3.2.2 – Aumento da Temperatura ΔT

O aumento de temperatura ΔT necessário à preparação de águas quentes sanitárias, segundo o regulamento supracitado, toma o valor de referência de 45 °C. Este valor tem em consideração que a água da rede pública de abastecimento é disponibilizada aos cidadãos a uma temperatura média anual de 15 °C e que esta deve ser aquecida até uma temperatura de 60 °C (RCCTE 2006).

Convém notar e referir (a título de exemplo, pois o regulamento obriga a utilização dos 60°C) que esta temperatura de referência é um pouco elevada não estando, actualmente, ajustada à realidade apresentando, esta variável, algum interesse no prosseguimento da sua revisão. Note-se, que normalmente as pessoas não utilizam a água a esta temperatura para tomar banho (60°C) nas suas habitações e que quanto maior for a diferença entre a temperatura de utilização e a temperatura ambiente, maiores serão também as perdas térmicas associadas e portanto menor a quantidade de energia útil que o fluido térmico será capaz de extrair, levando a que o rendimento do colectador vá diminuindo à medida que a temperatura de utilização aumenta.

3.2.3 – Número Anual de Dias de Consumo de AQS (Nd)

Na determinação do número de dias de consumo de AQS, visto que se trata de um edifício residencial ou uma habitação, o regulamento considera 365 dias., isto porque se tem em conta que, durante todo o ano, a habitação necessita de água quente. No entanto, apresenta-se a título de exemplo os valores para esta variável na tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Número anual de dias de consumo de água quente solar de acordo com o tipo de edifício e utilização, adaptado do RCCTE

Tipologia do Edifício	Utilização	Nº de dias de consumo de AQS
Edifícios Residenciais	Permanente	365
	Permanente	365
Edifícios de serviços	Encerrado 1 dia por semana	287
	Encerrado 2 dias por semana	261

3.2.4 – Cálculo da Área ou Superfície AbsorSORa (m²)

O cálculo da área, ou da superfície absorSORa, é baseado no princípio de atribuição de 2m² de superfície colectora por fracção autónoma e tendo como referencia um colector padrão cujas características principais estão relacionadas com o seu rendimento, aproximadamente 70%, e área de 1 m². A energia anual fornecida pelos colectores, ou pelo sistema solar, é calculada recorrendo ao software do INETI “SolTerm” segundo o RCCTE e após a obtenção deste valor, designado de “Esolar” ou “Energia Fornecida”, refaz-se o cálculo tendo agora em conta o colector solar real a instalar. O valor da energia anual fornecida pelo sistema seleccionado apenas tem de ser igual ou superior ao valor da energia anual fornecida com o colector padrão conduzindo este novo colector, na generalidade dos casos, a uma energia anual fornecida superior e a uma área de colectores a instalar inferior, tornando o sistema mais económico uma vez que os colectores existentes, actualmente, no mercado possuem características superiores às estipuladas para o colector padrão.

3.2.5 – Volume do Depósito de Armazenamento de AQS

O volume do depósito de armazenamento de AQS é calculado levando em consideração o consumo médio diário da habitação C_{Md} . Como o objectivo principal do sistema é aproveitar o máximo de energia fornecida pelo sol e o mínimo de energia recorrendo a sistemas auxiliares, é usual afectar 1,5 a 2 vezes o consumo médio diário. Tal procedimento conduz à possibilidade de ultrapassar os dias de verão com menor irradiação sem ser necessário recorrer a aquecimento auxiliar (IST 2004). Com este conhecimento, o volume do reservatório de água quente a instalar, expresso em Litros, é dado pela equação que se segue

$$V_{Depósito} = (1,5 \text{ a } 2) \times C_{Md} \quad (22)$$

A afectação de 1,5 a 2 vezes o consumo médio diário leva a que o volume do depósito a instalar seja maior. Isto traz benefícios e contrapartidas sendo necessário optar pelo valor que melhor equilibre e satisfaça a melhor relação custo/benefício. Adoptando o factor de 2 vezes o consumo médio diário conduzirá a um maior período de autonomia do sistema no verão, isto é, mais dias de água quente sem ser necessário recurso a aquecimento auxiliar, mesmo em dias com menor radiação, por outro lado, no inverno, existe uma maior quantidade de água no depósito que é necessário aquecer sob condições menos favoráveis de radiação solar, o que pode levar a um maior consumo de energia para aquecimento auxiliar significando maiores custos de energia associados. Assim, para o presente modelo admite-se um factor de 1,5 vezes o consumo médio diário pois entende-se que este satisfaz o objectivo principal anteriormente mencionado.

$$V_{Depósito} = 1,5 \times C_{Md} \quad (23)$$

3.2.6 – Estimativa da Energia Fornecida pelo Colector Solar ($E_{\text{Fornecida}}$) ou Energia Útil

Para se determinar a energia útil ou fornecida do colector solar é necessário, primeiramente, determinar a energia que, supostamente, este consegue aproveitar (E_{aprv}) sendo esta, a energia que incide num dia médio de cada mês sobre cada m^2 de superfície de colector. Para tal, parte-se dos dados da radiação média horizontal para o local considerado afectando-os das seguintes correcções (Incio 2009).

- Se a localização do sistema solar térmico for uma zona de montanha com atmosfera limpa os valores de radiação são multiplicados por um factor de 1.05.
- Se a localização do sistema solar térmico for em zonas poluídas, ou grandes cidades, os valores da radiação são multiplicados por um factor de 0,95.

Na generalidade dos casos, os colectores solares possuem um ângulo de inclinação, podendo este ser variável dependo da vontade do utilizador e os fins a que o sistema se destina. Tal ângulo terá influência na produtividade do colector uma vez que o ângulo de incidência do sol varia ao longo do dia e o sistema, geralmente, é fixo. A este ângulo de incidência dá-se o nome de modificador de ângulo e é calculado para diversos ângulos de incidência do sol. No presente modelo adopta-se o modificador de ângulo a 50° para o cálculo da energia produzida pelo colector padrão e para o caso do utilizador escolher o ângulo, ou na eventualidade de este ser proposto, o modificador de ângulo é dado por (Soteris 2003)

$$\lambda_{\alpha\tau} = 1 - b_0 \left(\frac{1}{\cos(\varphi)} - 1 \right) \quad (24)$$

onde $\lambda_{\alpha\tau}$ diz respeito ao modificador de ângulo, b_0 é a constante do modificador do ângulo incidente do sol e, segundo Soteris (2003), toma o valor de 0,1, e φ representa o ângulo de incidência do sol.

Outro aspecto a ter em conta, é o facto das temperatura às primeiras e últimas horas de um dia, regra geral, não serem suficientes para promover a circulação do fluido térmico e consequente aquecimento da água no depósito estimando-se que cerca de 6% da energia irradiada pelo sol, nestas circunstâncias, não seja aproveitada. Assim, é inevitável afectar a radiação emitida pelo sol de um factor de 0,94 (Incio 2009).

Posteriormente, o cálculo da energia produzida pelo colector, ou sistema solar térmico, é baseado no método de cálculo proposto pelo ESTIF, o qual foi integrado na última versão da Norma Europeia EN 12975 referente aos colectores solares térmicos. A razão de tal metodologia reside no facto, segundo a ESTIF, de que a análise à temperatura real do colector, também aparecendo em alguma literatura especifica como a temperatura à entrada do circuito interno do colector do fluido térmico, bem como a simulação individual

da produção de energia conduzirem a elevados encargos financeiros, podendo mesmo inviabilizar alguns projectos.

Tendo estes factos presentes, a presente metodologia de cálculo assenta nos parâmetros de eficiência do colector solar, os quais são dados fornecidos pelos fabricantes, nomeadamente o rendimento óptico (μ_0) e os parâmetros referentes às perdas do mesmo, coeficiente global de perdas (U_L), ou coeficiente primário ou de primeira ordem (a_1) e coeficiente secundário de perdas ou de segunda ordem (a_2). Assim, tendo em conta tais parâmetros, procede-se ao cálculo do rendimento útil do colector que é traduzido pela equação (ESTIF 2007)

$$\eta = \eta_0 - a_1 \left(\frac{T_{mint} - T_{amb}}{\delta} \right) - a_2 \left(\frac{T_{mint} - T_{amb}}{\delta} \right)^2 \quad (25)$$

Onde η representa o rendimento útil do colector solar, dado em %, η_0 representa o rendimento óptico do colector, expresso em %, ou seja, o rendimento ideal ou rendimento na origem, a_1 o coeficiente de perdas primário ou de primeira ordem expresso em $W/m^2/^{\circ}K$, a_2 o coeficiente secundário de perdas ou de segunda ordem expresso em $W/m^2/^{\circ}K^2$, T_{amb} a temperatura média ambiente em graus célsius, T_{mint} a temperatura média interior do colector (ou temperatura média do fluido térmico à entrada) em graus célsius e δ representa a radiação solar em W/m^2 . Tendo em conta, também, que o rendimento é a razão entre a potência de saída do colector e a potência de entrada, sendo esta última dada pelo produto da área do colector pela radiação incidente, pode-se escrever a potência como (ESTIF 2007)

$$P = A \times [\eta_0 \times \lambda_{at} \times \delta - a_1 \times (T_{mint} - T_{amb}) - a_2 \times (T_{mint} - T_{amb})^2] \quad (26)$$

Onde P é a potência de saída do colector expresso em kW.

Todos os parâmetros constantes da equação (26), à excepção de T_{mint} , são conhecidos pelo que T_{mint} é a variável que se pretende determinar para todos os períodos temporais em análise. O valor da temperatura média no interior do colector está dependente não só dos parâmetros climáticos, como a radiação e temperatura ambiente, mas também da “carga” a alimentar, do desenho e componentes do sistema (como a área e a eficiência do colector, a capacidade do depósito, das perdas por calor, controlo, etc.) para o local seleccionado, período de tempo em análise e respectivas condições de operação. No entanto se T_{mint} for considerado constante em todos os períodos de tempo, a análise torna-se mais simples e é adequada a sistemas solares térmicos de pequena dimensão como é o caso (ESTIF 2007). Assim, assume-se a temperatura média no interior do colector como sendo constante em todos os períodos de tempo em análise, no caso durante um ano, não descorando o tipo de aplicação, a localização e as perdas do colector, e que a temperatura média no interior do colector é igual à temperatura da água armazenada no depósito de armazenamento. Na tabela 3.4 são ilustrados valores para T_{mint} os quais constam da proposta de metodologia da ESTIF.

Tabela 3.4 – Valores recomendados, segundo a ESTIF, para a temperatura média do interior do colector.

Aplicação	Valor recomendado para T_{mint} (°C)	Coef de conversão do output do colector para o output do sistema (F_{col_sist})
<i>Aplicação Domestica de AQS com Back-up de Caldeira ou Esquentador a gás</i>	50	0.86
<i>Aplicação Doméstica de AQS com Back-up eléctrico</i>	50	0.86

Apesar destes valores se aplicarem a uma gama larga de países conforme ilustrado no documento da ESTIF, adoptar-se-á para o presente modelo de cálculo uma temperatura média do interior do colector de 60°C, uma vez que é esta temperatura que o regulamento impõe para instalações solares térmicas de água quente sanitária em Portugal. Assim, assumindo uma temperatura do colector constante a energia produzida pelo colector é calculada integrando a equação 26 ao longo de um ano tendo em conta todas as contribuições positivas (assumindo que o ciclo de funcionamento do colector não tem em conta, ou não se dá, com contribuições negativas). A equação seguinte traduz a energia produzida pelo colector solar térmico.

$$E_{anual} = \int [A \times [\eta_0 \times \lambda_{\alpha\tau} \times \delta - a_1 \times (T_{mint} - T_{amb}) - a_2 \times (T_{mint} - T_{amb})^2]]^+ . dt \quad (27)$$

Posteriormente procede-se ao cálculo da energia fornecida pelo sistema solar térmico, sendo esta calculada recorrendo a um coeficiente de conversão da energia fornecida pelo colector para a energia fornecida pelo sistema, denominado $F_{col-sist}$. De referir que o valor deste coeficiente tem em conta tanto as perdas nos tubos do circuito exterior como as perdas de calor do depósito. O valor adoptado para este coeficiente é, segundo o documento da ESTIF (2007), de 0,86 por se tratar de um sistema doméstico de produção de águas quentes sanitárias. A equação 28 traduz o referido anteriormente

$$E_{anual}_{forn_sist} = E_{anual} \times F_{col-sist} \quad (28)$$

Como referido anteriormente, o objectivo destes sistemas é aproveitar o máximo de energia irradiada pelo sol, pelo que é usual dimensionar-se estes sistemas para fornecer 100% da energia necessária ao aquecimento de água durante os meses de Maio a Setembro (IST 2004). O grau de aproveitamento de energia solar é traduzido, na literatura, como fracção solar – expressa em percentagem – sendo esta descrita como a taxa de calor produzida pelo sistema solar no cômputo geral da energia total requerida para aquecimento da água. É traduzida pela seguinte equação

$$FR_{sol} = \frac{E_{\text{útil ou Fornecida}}}{E_{\text{útil ou Fornecida}} + E_{\text{aux necessária}}} \times 100 \quad (29)$$

Uma elevada fracção solar dum sistema de AQS traduz menores necessidades de energia não renovável para aquecimento auxiliar sendo que no caso extremo ($FR_{sol} = 100\%$) apenas se consome energia solar. Esta variável será introduzida no modelo a desenvolver no sentido de dar a conhecer ao utilizador se o sistema por si seleccionado terá um bom desempenho no aproveitamento de energia solar para aquecimento de água da sua habitação.

3.3 – MODELO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS (SAAP)

Os sistemas de captação e armazenamento de águas pluviais têm vindo a ser sugeridos de forma a promover ganhos ou poupanças significativas de água potável com os consequentes benefícios económicos e ambientais. No entanto, a sua análise sob ponto de vista da integração numa habitação juntamente com todas as outras tecnologias de aproveitamento de energias endógenas e renováveis e consequente análise técnico-económica do “produto final” ainda é um pouco incipiente, embora se conheça as vantagens e benefícios destes sistemas aquando da sua instalação isolada numa habitação ou edifício. Conforme visto anteriormente, estes sistemas são compatíveis com diversos usos na habitação e admite-se desde já que no modelo a adoptar os usos compatíveis são as descargas dos vasos sanitários, duches e banhos, consumos em máquinas de lavar roupa e loiça, regas de jardim e outros usos como lavagem de veículos e pavimentos.

3.3.1 – Estimativa da Capacidade do Reservatório de Armazenamento de Água Pluvial

O cálculo da capacidade do reservatório de armazenamento de águas pluviais foi desenvolvido tendo em consideração a Norma Técnica ETA 0701 da ANQIP, Bertolo (2006), Oliveira (2008) entre outros.

Na grande maioria dos casos, se não mesmo na totalidade, o reservatório de armazenamento de águas pluviais constitui o elemento do sistema que acarreta os maiores encargos financeiros, sendo esta conclusão unânime em toda a comunidade científica. Daí que o modelo a desenvolver para o seu cálculo deva ter em atenção o correcto dimensionamento para não conduzir a uma situação de inviabilidade económica da integração destes sistemas em edifícios ou habitações (Bertolo 2006) (Thomas e Martinson 2007).

Os principais factores que influenciam o dimensionamento do tanque ou reservatório de armazenamento de água pluvial estão relacionados com os seguintes quatro itens de grande importância, a saber:

- Área de Captação (m^2) e o tipo de superfície de que é constituída.

- O Coeficiente de escoamento “Run Off”.
- A Precipitação no local de instalação do sistema.
- O Perfil de Consumos ou as Necessidades de Água da habitação ou edifício.

Existem vários métodos disponíveis na literatura para o cálculo do volume do tanque de armazenamento a instalar, os quais conduzem ou resultam em diferentes volumes de reservatórios (Moruzzi, Carvalho e Oliveira 2008), como por exemplo o Método Alemão, o Método Simplificado Alemão, o Método de Azevedo Netto, Método Prático Inglês, Método Simplificado Espanhol, Método de Rippl, Método de Análise e Simulação, Método Australiano entre outros (ANQUIP 2009).

No presente modelo, para o cálculo inicial da capacidade volumétrica do reservatório, será adoptado o Método Simplificado Espanhol o qual pondera precipitações e consumos considerando o valor médio do volume e um período de reserva ou autonomia de 30 dias. Posteriormente, conjugar-se-á este método com o Método do Máximo Aproveitamento no sentido de se obter uma maior precisão na definição do volume de armazenamento do reservatório a instalar, a quantidade de água da chuva armazenada no tanque ao longo dos meses e poupanças de água potável em função da eficiência ou rendimento alcançado pelo sistema e tendo em conta a melhor relação custo/benefício.

3.3.1.1 – Método Simplificado Espanhol

O método exige certos dados de entrada para posterior cálculo do volume do tanque de armazenamento. Neste caso, os dados de entrada relevantes são os mencionados anteriormente em “os principais factores que influenciam o dimensionamento de reservatórios de água pluvial”. Na posse destes dados, o volume captado pelo sistema, expresso em m^3 , está intrinsecamente ligado ao volume diário de precipitação na zona ou local de instalação do sistema, sendo este último expresso em litros e dado por

$$Volume_{precipitado}(t) = P(t) \times A_{Capt} \quad (30)$$

onde $P(t)$ representa a precipitação média anual expressa em mm e A_{Capt} a área de captação, expressa em m^2 . O cálculo do volume anual captado pelo sistema, expresso em litros, resulta em

$$Volume_{Captado\ sistema}(t) = P(t) \times A_{Capt} \times C \times \eta_f - Volume_{Desviado} \quad (31)$$

uma vez que é necessário ter em conta que nem toda a água que precipita pode ser aproveitada, pois existem perdas que têm de ser contabilizadas. Assim, descontando as perdas existentes à equação (30) obtém-se o volume anual captado pelo sistema traduzido na equação (31) onde $P(t)$ representa a precipitação anual expressa em mm, A_{Capt} a área de captação, expressa em m^2 , C o coeficiente de escoamento ou coeficiente de “Run off”, tratando-se de um coeficiente adimensional, função das características da superfície,

representando a relação entre o volume total de escoamento superficial num determinado período de tempo e o volume total precipitado nesse período e η_f a eficiência hidráulica de filtragem, sendo esta a relação entre a quantidade de água filtrada que chega ao depósito de armazenamento e a quantidade de água da chuva que chega ao filtro.

O volume desviado, expresso em Litros (l), corresponde às perdas de água pluvial resultantes da lavagem do telhado derivando estas das primeiras chuvas que caem na superfície de captação (telhado) e que são desviadas por um dispositivo próprio (first flush). O volume desviado é dado pela equação seguinte.

$$Volume_{Desviado} = Q \times A_{Capt} \quad (32)$$

Onde Q representa a altura de precipitação (geralmente 2 mm) e A_{Capt} a área de captação em m^2 .

Segundo a especificação técnica da ANQUIP, ETA 0701, estas perdas podem ser determinadas com base em critérios de tempo e/ou com base na área de cobertura e uma altura de precipitação pré-estabelecida, que poderá variar entre 0,5 e 8,5 mm conforme as condições do local no entanto, na ausência de dados ou de estudos das condições locais, pode admitir-se um volume a desviar correspondente a 2 mm de precipitação ou aplicando a equação (32). Quando se opte pelo critério de tempo deverá ser desviado um volume mínimo correspondente aos primeiros 10 minutos de precipitação podendo adoptar-se um valor mais baixo, mas nunca inferior a 2 minutos.

3.3.1.2 – Área de Captação de Águas Pluviais

A área de captação, conforme visto anteriormente, representa a área de telhados, terraços, etc., da habitação ou edifício projectada na horizontal da superfície onde a água é captada. Como se trata de uma área a sua unidade é em metros quadrados (m^2) e pode ser obtida pelo utilizador por medição directa no local, recorrendo a plantas e projectos ou fazendo uso das tecnologias de informação, como por exemplo o Google Earth sendo que neste caso é necessário proceder-se à correcção da inclinação dos telhados.

3.3.1.3 – Coeficientes de Escoamento / Run Off

Os conceitos de coeficiente de escoamento e coeficiente de run off podem ser entendidos de forma semelhante contudo, a sua aplicação prática difere um pouco.

O coeficiente de escoamento representa a razão ou relação entre a precipitação útil (ou seja, aquela que produz ou dá origem a escoamento) e a precipitação efectiva (ou seja, aquela que cai na superfície de captação) (Bertolo 2006), por outras palavras, representa a razão entre o volume total de água pluvial recolhida pela superfície de captação e o volume total de água precipitada (Oliveira 2008), estando este coeficiente dependente da evaporação e do tipo de superfície.

O coeficiente de Run Off, para além de estar dependente da evaporação e do tipo de superfície, entra em consideração também com as perdas de água pluvial por lavagem do telhado sendo esta a única diferença entre estes dois conceitos.

São sugeridos vários valores para o coeficiente de escoamento / Run Off na literatura no entanto, serão adoptados neste modelo os valores referidos na Norma Técnica da ANQIP ETA 0701 cujos valores são os que se apresentam na tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Coeficientes de Escoamento / Run Off para os vários tipos de superfície, Fonte: adaptado da Norma Técnica ETA 0701 da ANQIP

Tipo de Cobertura	Valor do Coeficiente
Coberturas Impermeáveis (Telha, Cimento, Asfalto, etc.)	0,8
Coberturas Planas com Gravilha	0,6
Coberturas Verdes Extensivas (com 1 camada de profundidade média, permitindo a plantação de árvores e arbustos)	0,5
Coberturas Verdes Intensivas (Com uma camada de crescimento fina, adequada para flores e ervas)	0,3

3.3.1.4 – Eficiência Hidráulica de Filtragem

A eficiência hidráulica de filtragem corresponde à relação entre a quantidade de água filtrada que chega ao reservatório de armazenamento e a quantidade de água pluvial que chega ao filtro. Para o presente modelo, admite-se que o sistema sofre uma manutenção e limpeza regulares, pelo que a eficiência hidráulica de filtragem, para estas condições e segundo a norma ETA0701, toma o valor de **0,9** (ANQUIP 2009).

Tendo o conhecimento destes valores, o volume do reservatório de armazenamento a instalar, expresso em m³, segundo o método simplificado espanhol é dado por

$$Volume_{Res} = \left(\left[\frac{(Volume_{\acute{u}til} + Consumo_{Estimado})}{2} \right] \times \frac{Período_{Estiagem}}{365} \right) / 1000 \quad (33)$$

onde o $Volume_{\acute{u}til}$ é igual ao volume anual captado pelo sistema e o $Período_{Estiagem}$ de estiagem representa o período de autonomia desejado para o sistema, ou seja, durante quanto tempo o sistema suprirá o consumo sem existir reposição de água no tanque. Para Portugal, o valor aconselhado é de 30 dias no entanto, este critério pode ser alterado de acordo com a vontade do utilizador.

3.3.2 – Estimativa de Consumos ou Necessidades de Água Pluvial (CEstimado)

As necessidades de água da chuva, expressa em m^3 , é dada pela seguinte equação.

$$Nec_{\text{água}}(t) = C_{WC-Autoclimismo/Banhos} + C_{Máquinas\ R/L} + C_{Lav.pavim} + C_{Jardins} \quad (34)$$

O Programa Nacional para o uso eficiente da água (PNUEA) admite como consumo médio anual por habitação ou fogo, em Portugal, cerca de 310 Litros por dia (L/dia) (PNUEA 2001).

O projecto EcoFamílias na sua vertente Água desenvolvido pela Quercus em parceria com a empresa Águas do Algarve S.A., foi aplicado a 10 famílias durante o período de 1 ano. Dos resultados conclui-se que o consumo médio diário numa habitação é da ordem dos 265 Litros por dia (L/dia) um pouco inferior à média nacional admitida no PNUEA. Porém, ao comparar-se os valores do consumo de água na habitação por habitante este é maior do que a média nacional, 84 Litros por habitante ao dia (L / (hab.dia)), versus 78 Litros por habitante ao dia (L / (hab.dia)) respectivamente (Algarve 2008).

Um estudo mais recente elaborado pela Aquapor, tendo como objectivo definir o perfil “consumidor tipo” português bem como avaliar a evolução do consumo num horizonte temporal de 4 anos, analisou os hábitos de consumo de 288 mil habitantes, no período referido, e concluiu que o consumo médio diário se situa nos 109 Litros por habitante ao dia (L / (hab.dia)) tendo como cenário um ambiente misto (Rural/Urbano). No entanto, quando considerado apenas um cenário em ambiente urbano este valor é elevado para os 137 Litros por habitante ao dia (L / (hab.dia)) (Aquapor 2009).

Neves (2003), estima que o consumo médio diário por habitante na região do Porto se situe nos 136 Litros por habitante ao dia (L / (hab.dia)) sendo que destes, 121 (L / (hab.dia)) são referentes à habitação (Neves 2003).

De notar que a capitação total (correspondente à água efectivamente necessária para cada habitante) é cerca de 2,2 vezes maior, perfazendo 301,4 (L / (hab.dia)) em ambiente urbano e 230 (L / (hab.dia)) em ambiente misto pois entram em linha de conta com factores tais como a rega de jardins e espaços públicos, lavagem de ruas, consumos de autarquias e de organismos sociais etc. Todavia, apenas os consumos na habitação tem interesse no âmbito deste trabalho e serão esses os considerados. De seguida apresenta-se um quadro resumo com os consumos médios diários por habitante.

Tabela 3.6 – Consumos médios diários por habitante em Portugal referenciados nos diversos estudos efectuados

	Proj. EcoFamílias	Aquapor	Neves
Consumo médio diário por habitante (L/ (hab.dia))	84	137	121
Notas	Considera média nacional 78 (L / (hab.dia))	Considera em ambiente misto 109 (L / (hab.dia))	Na região do Porto

3.3.2.1 – Consumos em WC (Autoclismos)

O PNUEA refere que o consumo dos autoclismos representa cerca de 40% do consumo médio diário da habitação situando-se aproximadamente nos 40 Litros por habitante ao dia (L / (hab.dia)) tendo em conta uma frequência média de uso de 4 descargas por habitante sendo cada uma delas de 10 Litros (PNUEA 2001).

Segundo Neves (2003) as sanitas ou os autoclismos são responsáveis pelo consumo de água equivalente a 60 litros por habitante ao dia (L / (hab.dia)) dos quais 45 Litros por habitante ao dia (L / (hab.dia)) dizem respeito à habitação (Neves 2003) sendo este valor aproximado à estimativa do PNUEA.

A Norma ETA 0701 da ANQIP indica como consumos para autoclismos em habitações aproximadamente de 24 (L / (hab.dia)), mas tem em conta autoclismo com tecnologia dual, ou seja, autoclismos que possuem dupla descarga (ANQUIP 2009).

Segundo Neves (2003) citado por Bertolo (2006) uma análise efectuada a um grupo de 4 pessoas tendo como objectivo determinar a frequência de uso do autoclismo revelou que este era descarregado 1,5 vezes ao dia após defecção e 6 vezes ao dia após micção. Admitiu-se uma tecnologia recente com autoclismos de baixo consumo ou autoclismos duais (possuem dupla descarga) o que levou a um consumo médio diário, expresso em Litros por habitante ao dia L/hab.dia, de acordo com a seguinte equação.

$$Consumo_{Autoclismo} = 1,5 \times 6 l + 6 \times 3 l = 27 \quad (35)$$

No entanto é necessário ter em conta que a maioria das pessoas passa a maior parte do tempo fora de casa, por motivos de trabalho etc., sendo do interesse, no âmbito deste modelo, apurar uma estimativa do consumo médio diário o mais realisticamente possível. Assim, é fundamental redefinir a frequência de utilização e o consequente consumo médio diário e para tal, estima-se que a frequência média de utilização deste equipamento nestas circunstâncias seja de 1 vez por dia após defecção e 4 vezes por dia após micção (Bertolo, 2006).

Admite-se que cerca de 80% da população se encontra nestas condições, trabalhando e passando mais tempo fora de casa, e a estimativa do consumo médio diário recai numa média ponderada sendo o consumo médio diário do equipamento dado por

$$Consumo_{Autoclismo} = 6 l \times (0,8 \times 1 + 0,2 \times 1,5) + 3 l \times (0,8 \times 4 + 0,2 \times 6)$$

$$Consumo_{Autoclismo} = 20 l / (hab. dia) \quad (36)$$

Na falta de estimativas apuradas, pois estas dependem de pessoa para pessoa e da frequência de utilização deste equipamento, o consumo do autoclismo, expresso em m³, pode ser traduzido pela equação seguinte

$$Consumo_{Autoclismo} = \frac{Freq_{Utilização} \times Volume_{Autoclismo} \times NrU}{1000} \quad (37)$$

onde $Freq_{Utilização}$ representa a frequência média diária de utilização do equipamento, $Volume_{Autoclismo}$ o volume de água gasto em cada descarga do equipamento ou em cada utilização (volume coincidente com a capacidade do autoclismo) e NrU representa o número de utilizadores do equipamento.

3.3.2.2 – Consumos em WC (Duches e Banhos)

Segundo o Relatório Final do Projecto EcoFamílias na sua vertente Água aplicado a famílias no Algarve, o consumo médio diário para estas rubricas situa-se nos 33,7 litros por dia variando entre os 18 e os 60 Litros por dia (Algarve 2008).

O PNUEA refere que os banhos e duches representam cerca de 39% do consumo médio diário de água de uma habitação (tendo em conta uma dimensão do agregado familiar de 3,1 pessoas), situando-se este nos 40 Litros por habitante ao dia (L / (hab.dia)) (PNUEA, 2001).

Neves (2003) chegou à mesma estimativa para a região do Porto, estimando o consumo médio diário dos duches e banhos nos 40 (L / (hab.dia)). Contudo, experiências realizadas por este autor mostraram que a simples mudança para chuveiros de menor consumo reduz substancialmente os gastos de água considerando-se o valor de 18 (L / (hab.dia)) como consumo médio diário por habitante (Neves, 2003).

3.3.2.3 – Consumos referentes à Máquina de Lavar Roupa

As máquinas de lavar roupa têm tido uma evolução significativa em termos de consumos de água por lavagem. Os modelos de máquinas existentes, segundo o PNUEA, apresentam consumos variáveis que podem situar-se entre os 35 e os 220 litros por lavagem. No mesmo documento admite-se um consumo médio diário de 90 litros por lavagem para uma carga de 5 kg. Admite-se ainda uma frequência média de utilização de 0,5 sendo o consumo médio diário estimado de 45 Litros/dia o que representa cerca de 15 (L / (hab.dia)) (PNUEA, 2001).

No relatório final do projecto EcoFamílias na sua vertente Água, verificou-se que na utilização da máquina de lavar roupa o consumo médio diário, no total das famílias, foi de 55 litros/ lavagem estando abaixo do valor estimado no PNUEA para uma carga de 5 kg. Porem, convém realçar que estes valores se encontram acima do consumo médio diário por lavagem de uma máquina actual de tecnologia Classe A cujos consumos são da ordem dos 40 a 50 litros por lavagem (Algarve 2008).

Neves (2003) realça que hoje em dia já se encontram difundidas máquinas de lavar roupa com consumos da ordem dos 60 litros por lavagem com carga completa, o que se verifica no projecto EcoFamílias cujo consumo médio diário ronda os 55 litros por lavagem, e no que diz respeito à frequência média de utilização esta assenta no valor de 0,7 vezes por dia para agregados familiares de 4 pessoas e no valor de 0,5 para agregados familiares menores, o que está de acordo com a frequência média de utilização da máquina de lavar roupa no PNUEA que tem em conta um agregado médio de 3,1 pessoas. Isto corresponde,

então, a consumos médios diários por habitante da ordem dos 12 a 16 (L / (hab.dia)) (Neves, 2003).

Segundo a Norma ETA 0701 da ANQIP, o valor estimado para o consumo médio diário de uma máquina de lavar roupa é de 10 (L / (hab.dia)) sendo este valor baseado em máquinas que apresentam consumos de 9 a 12 litros por kg (ANQUIP 2009).

3.3.2.4 – Consumos referentes à Máquina de Lavar Loiça

Analogamente às máquinas de lavar roupa, as máquinas de lavar loiça tem sofrido, também, um grande avanço no que diz respeito ao consumo de água por lavagem representando cerca de 3% da factura da água segundo o Relatório Final do Projecto EcoFamílias.

Segundo o PNUEA, os modelos existentes apresentam consumos que variam entre os 12 e os 36 Litros por lavagem em modelos com capacidade para serviços de loiça para 8 pessoas e consumos de 12 a 54 Litros por lavagem para modelos com capacidade para serviços de loiça para 12 pessoas. O Programa para uso eficiente da água admite um consumo médio por lavagem de 22 litros e uma frequência média de uso de 0,5 lavagens, estimando-se o consumo médio diário em 11 litros por dia representando aproximadamente 4 (L / (hab.dia)) (PNUEA, 2001).

Neves (2003) estima um consumo médio diário de 15 litros por lavagem admitindo uma frequência média de utilização de 0,9 para agregados familiares de 4 pessoas e 0,7 para agregados familiares menores bem como equipamentos eficientes, conseguindo chegar também a estimativas de 4 (L / (hab.dia)) (Neves, 2003).

3.3.2.5 – Consumos para Lavagens de Pavimentos e outras Actividades

Relativamente a estes consumos estima-se que sejam da ordem dos 6 (L / (hab.dia)) para cada uma das rubricas no entanto, a utilização de equipamentos mais eficientes conduz a estimativas de consumo da ordem dos 4 (L / (hab.dia)) para cada uma destas rubricas (Neves, 2003). No caso de não existir estimativas apropriadas, pois estes consumos também são variáveis de habitante para habitante, o consumo de água, expresso em m³, para lavagens e outras actividades é dado por

$$Consumo_{Lavagens} = \frac{Nr_{Lavagens} \times Volume_{\acute{a}gua/Lavagem}}{1000} \quad (38)$$

onde $Nr_{Lavagens}$ corresponde ao número de lavagens por dia e $Volume_{\acute{a}gua/Lavagem}$ ao volume de água gasto em cada lavagem. A Tabela 3.7 resume os consumos médios por habitante ao dia e consumos médios anuais encontrados na literatura consultada. Os valores anuais resultam de cálculos efectuados a partir dos valores por habitante ao dia.

Tabela 3.7 – Resumo dos valores médios diários por habitante e valores anuais referentes ao consumo de água numa habitação para fins não potáveis.

	Neves Tecnol. - Eficiente L/(hab.dia) (1)	Neves Tecnol. + Eficiente L/(hab.dia) (2)	ANQIP – ETA 0701 L/(hab.dia) (3)	PNUEA (2001) L/(hab.dia) (4)	Anual L/(hab.ano)			
					(1)	(2)	(3)	(4)
Autoclismo	45	20	24	40	16425	7300	8800	14600
Duches & Banhos	40	18	-	40	14600	6570	-	14600
Máquina Roupa	-	12	10	15	-	4380	3650	5475
Máquina Loiça	-	4	-	4	-	1460	-	1460
Limpeza & outras activid.	6	4	-	-	2190	1460	-	-
Jardins	-	-	1,5 a 5 l/m ²	-	60 a 400 l/m ²			
Relvados			5 a 7 l/m ²		450 a 800 l/m ²			
Outros	6	-	-	-				

3.3.3 – Análise e Simulação – Optimização do Sistema

Conforme mencionado anteriormente, num sistema de aproveitamento de águas pluviais, o reservatório de armazenamento da água constitui o item imprescindível do sistema e é o elemento que possui os maiores encargos financeiros. O seu dimensionamento está dependente das características da captação, dos índices pluviométricos do local e das necessidades de água exercidas, pelo que a escolha do método de dimensionamento mais adequado se torna fundamental para a viabilização técnico-económica da implantação destes sistemas.

No dimensionamento de reservatórios de água pluvial o objectivo é alcançar a capacidade volumétrica do reservatório de forma a suprimir ao máximo a demanda exercida com o menor custo possível e, para tal, existem, na actualidade, diversos métodos de simulação para chegar a este fim. No entanto, a escolha dos diversos métodos resulta em distintas capacidades de reservatório e daí a importância fundamental de se efectuar uma escolha acertada do método de cálculo a empregar (Moruzzi, Carvalho e Oliveira 2008).

Segundo Mierzwa et. al (2007) os métodos actuais, para cálculo de reservatórios de aproveitamento de águas pluviais, estão associados ao armazenamento de água para, posterior, consumo nos dias de seca, ou seja, possuem a preocupação de regularizar a vazão ao longo do ano, o que exige a construção ou aquisição de reservatórios com grandes capacidades de armazenamento e pode conduzir a situações de inviabilidade técnico-económica ou limitar o potencial de aproveitamento de água da chuva pela limitação da disponibilidade do recurso. Com uma abordagem completamente oposta, encontra-se o método de cálculo desenvolvido por este autor, Método do Máximo Aproveitamento

(MMA), cujo conceito base está centrado na procura da maximização do aproveitamento da água da chuva nas épocas características onde ocorrem tais fenómenos climáticos e com isto reduzir o consumo de água de fontes tradicionais (água potável) (Mierzwa, et al. 2007).

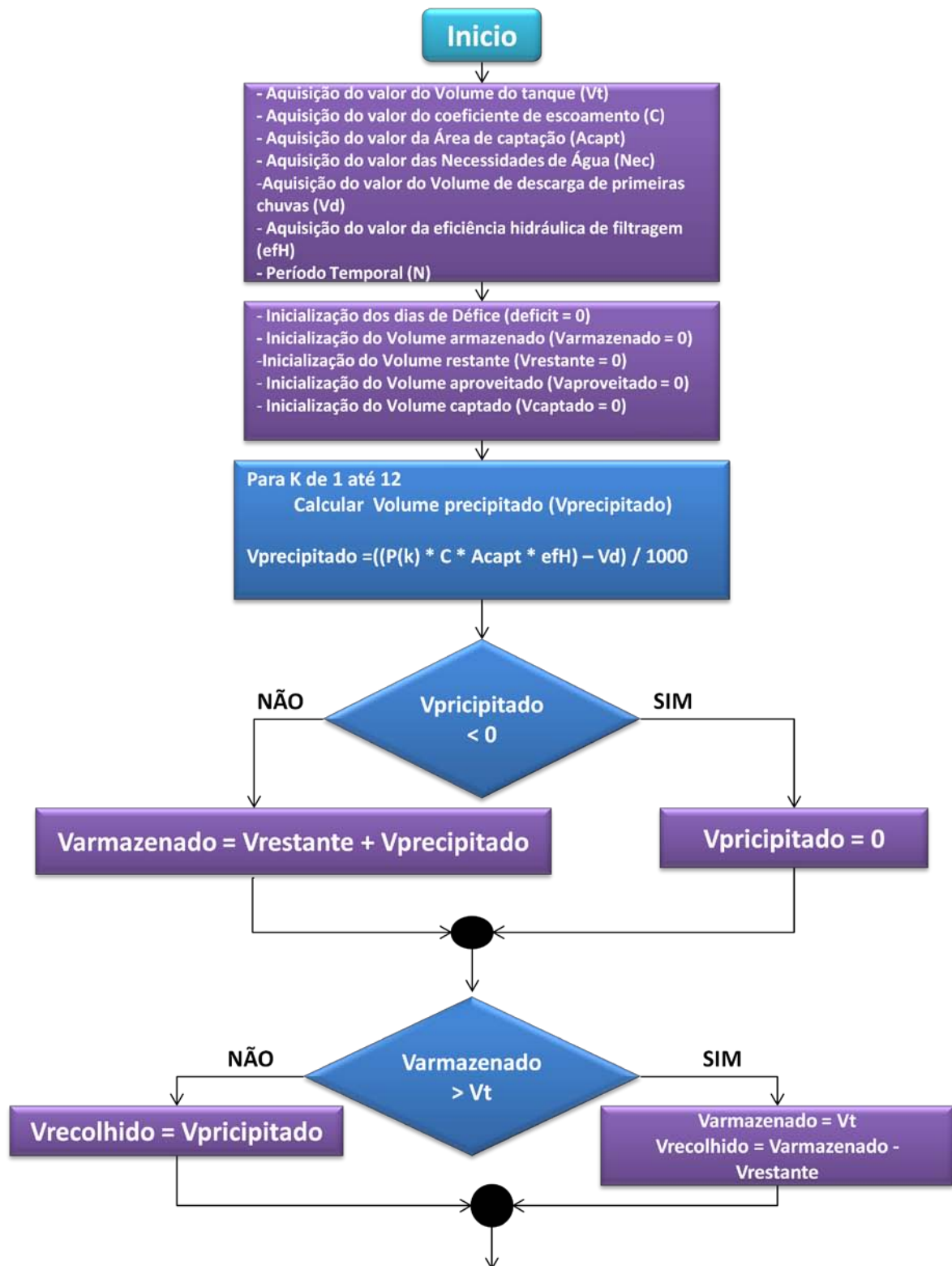
Este método de cálculo é baseado no conceito de balanço de vazões e parte da premissa de que só existirá aproveitamento de água da chuva se o volume armazenado no reservatório de água pluvial for maior ou igual à demanda exigida. Este princípio faz com que os reservatórios dimensionados segundo este método apresentem um determinado potencial de economia, ou seja, satisfaz uma determinada percentagem do consumo da habitação, ao contrário de outros métodos como o método de Rippl (o mais amplamente utilizado e pela sua simplicidade de cálculo) que garante a totalidade do consumo levando a reservatórios de capacidade superior, e apresenta uma menor probabilidade de ficar completamente vazio, estando o volume mínimo compreendido, na maior parte do tempo, entre zero e o valor das necessidades de água (Moruzzi, Carvalho e Oliveira 2008).

Compreende-se que o volume que se pode aproveitar para supressão dos consumos da habitação compatíveis com água pluvial aumente com o aumento da capacidade do tanque de armazenamento, sendo que, a partir de um determinado volume de reservatório, o volume aproveitado para suprimir o consumo da habitação em usos compatíveis com água pluvial tende a alcançar um valor máximo pois não existe aumento das necessidades de água (as necessidades de água são consideradas constantes). Assim, segundo o MMA, a capacidade volumétrica do reservatório é dada pelo valor cujo incremento não traz aumento significativo do volume anual aproveitado.

Moruzzi et. al (2008) propõem um aprimoramento do método de cálculo desenvolvido por Mierzwa, o qual consiste na determinação do volume do reservatório de água pluvial tendo em conta a percentagem das necessidades de água que devem ser atendidas e baseando o cálculo no conceito do balanço de vazões.

No presente modelo matemático, adoptar-se-á o modelo de cálculo e simulação de Mierzwa com as devidas alterações sugeridas por Moruzzi e tendo em conta que o volume inicial a adoptar para o reservatório é dado pelo método empírico, Método Simplificado Espanhol, constante na norma técnica ETA 0707 da ANQUIP.

De notar, que embora o consumo se dê apenas quando o volume armazenado no reservatório for maior ou igual às necessidades de água exigidas, maximizando, assim, o aproveitamento, nos meses onde ocorre “deficit” e consequentemente consumo de água da rede pública, o reservatório, para a maioria dos casos, continua com água armazenada que na prática, dependendo da vontade do utilizador, poderá ser empregue e consumida tendo em vista a redução dos encargos de água nos meses de “deficit”. A figura 3.4 ilustra o fluxograma do algoritmo adoptado.



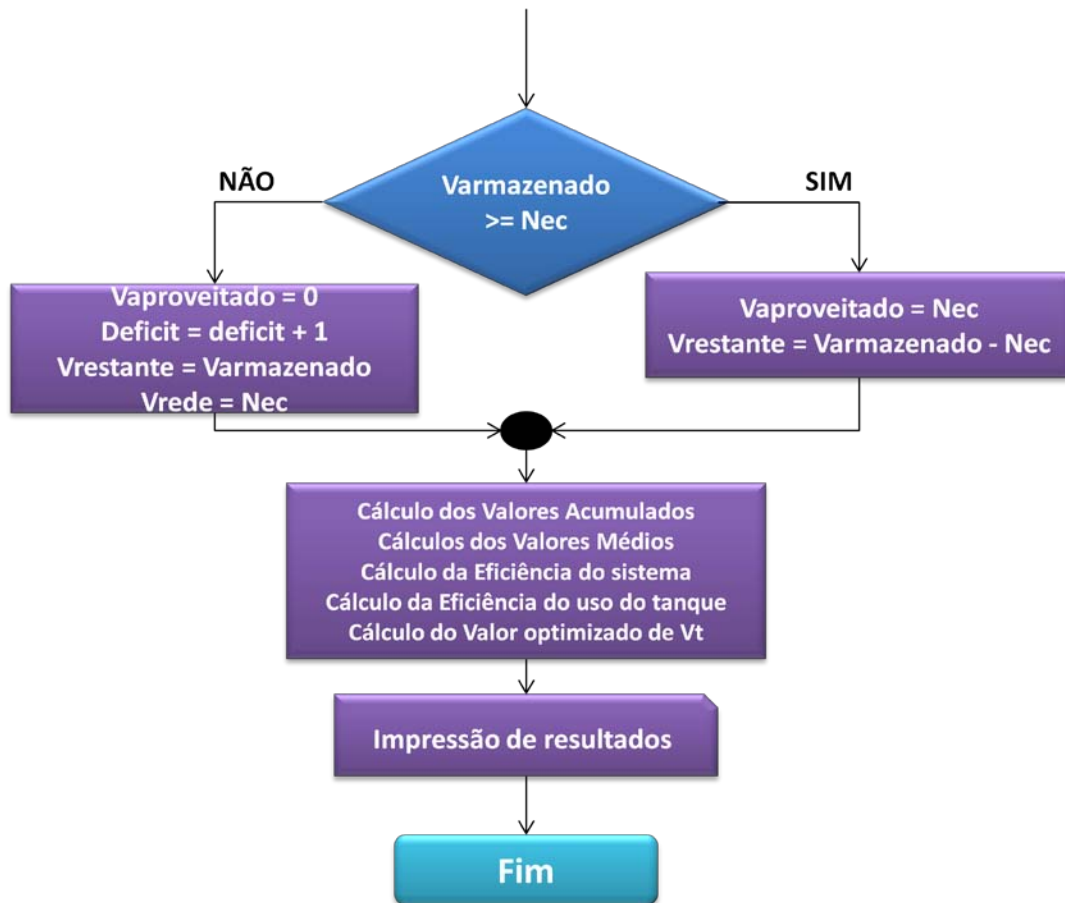


Figura 3.4 -- Algoritmo seguido para o cálculo e optimização do volume do Reservatório

3.4 – MODELO ECONÓMICO

A análise económica de projectos fornece a justificação financeira no que concerne à tomada de decisões de investimento e permite a identificação dos benefícios e custos esperados de um dado projecto (Mendes 2010). Actualmente, uma das formas mais utilizada na análise económica de projectos de investimento consiste na avaliação do período de retorno do capital investido (em inglês *payback time*) associada a outras métricas, tais como a análise do valor actual líquido do projecto em causa (VAL) (em inglês *Net present value*, NPV) e a análise da taxa interna de rentabilidade (TIR) (em inglês *Internal rate of return*, IRR).

O período de retorno do capital, como o próprio nome indica, traduz o período temporal, ou a quantidade de tempo, necessário à recuperação dos capitais investidos, ou seja, representa o tempo que o projecto demora a pagar-se a si próprio e é medido em dias, meses ou anos. O período de retorno do capital a utilizar no presente modelo é dado pela equação que se segue

$$payback_time = \frac{Investimento\ Efectuado_{Actualizado}}{Receitas\ Anuais_{Actualizadas}} \quad (39)$$

e as receitas anuais, para os sistemas solares, são traduzidas por

$$receitas\ anuais = Energia_{produzida\ Anual} \times \epsilon_{unitário_Energia} - Custos_{O\&M} \quad (40)$$

onde $Custos_{O\&M}$ representa os custos de operação e manutenção dos sistemas. Quanto ao sistema de aproveitamento de águas pluviais as receitas anuais traduzem-se em

$$receitas\ anuais = Q_{Anual} \times \epsilon_{unitário_água} - Custos_{O\&M} \quad (41)$$

onde Q_{Anual} representa a quantidade de água poupada devido à utilização do sistema de aproveitamento de águas pluviais.

Os valores indicados como “Actualizados” têm em conta a inflação, conceito introduzido mais adiante.

A análise do valor actual líquido de projectos consiste em efectuar a soma das receitas e custos provenientes de determinado projecto ao longo de um determinado período de tempo, considerado como tempo de vida útil do projecto, convertidos para o seu valor actual, ou presente, a uma taxa de actualização dada, ou conhecida (Masters 2004) (Mendes 2010). Por outras palavras, o VAL tem em conta o valor do dinheiro ao longo do tempo, pois possuir 1€ hoje é diferente (no sentido económico) de possuir 1€ daqui a 10 anos uma vez que o mesmo pode desvalorizar ou valorizar durante este período temporal. Assim, é de todo o interesse transferir para o presente o valor dos encargos e benefícios futuros no sentido de perceber se o projecto em causa é um bom investimento, no seu período de vida útil, ou não. O VAL vem expresso em unidades monetárias. A relação existente entre as receitas e/ou encargos futuros transferidos para o seu valor presente é dada por (Mendes 2010)

$$V_{presente\ ou\ actualizado} = A \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \times i} \quad (42)$$

onde i representa a taxa de actualização, n o número de anos de vida útil do projecto e A a anuidade.

Actualmente, muitos projectos requerem financiamento para poderem avançar e os projectos de energias renováveis enquadram-se neste cenário. Assim, na eventualidade de existir financiamento para o projecto em causa, o valor dos custos a suportar, no período de vida útil do projecto, actualizados para o seu valor presente são dados pela seguinte equação (Camus e Eusebio 2008)

$$Cust_{pres} = Inv_{efect.} \times (1 - \%do\ financi.) + Inv_{efect.} \times \%do\ financi \times \frac{a}{j} \times \frac{1 - (1+j)^{-n1}}{1 - (1+a)^{-n1}} + Cust_{O\&M} \times \frac{1+r}{r+j} \times \left[\left(\frac{1+r}{1+j} \right)^n - 1 \right] \quad (43)$$

onde $Inv_{efect.}$ representa o investimento efectuado no projecto, a é a taxa de juro associada ao financiamento adquirido, j é a taxa de desconto, r a inflação anual, $n1$ o tempo

de financiamento, n o tempo de vida útil do projecto e $Cust_{O\&M}$ representam os custos de operação e manutenção anuais.

3.4.1 - Fotovoltaico

No caso destes sistemas, para a obtenção das receitas anuais é necessário considerar a variação do preço da tarifa de venda da energia produzida pelo sistema à rede eléctrica, pois como referido anteriormente, este está dependente do regime de remuneração adoptado e da potência total instalada a nível nacional em cada ano. Convém relembrar, que no caso da opção efectuada recair no regime de remuneração geral, a potência de ligação do sistema está limitada a um máximo de 50% da potência já contratada para a habitação até um máximo de 5,75 kW e o preço de venda da energia produzida pelo sistema é igual ao preço de compra, actualmente 0,1285 €/kWh s/IVA, e no caso da opção efectuada recair sobre o regime de remuneração bonificado, a potência de ligação à rede está limitada a 50% da potência já contratada para a habitação até um máximo de 3,68 kW e o preço de venda da energia produzida pelo sistema está dependente da potência total ligada a nível nacional, a qual está limitada a um máximo de 10 MW ao ano sendo este limite sucessivamente incrementado em 20% ao ano. Pelo contrário, após ser atingido o limite anual estipulado a tarifa de venda de energia à rede é reduzida em 5% por cada 10 MW de potência atingida. A variação da tarifa de venda de energia à rede é apresentada na tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Variação da tarifa de venda de energia à rede para os sistemas fotovoltaicos tendo em conta o limite de potência anual instalado a nível nacional

Ano	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Limite Anual (MW)	10	12	14,40	17,28	20,74	24,88	29,86	35,83
Pot. Ligada à Rede (MW)	-	1 ^º s	1 ^º s	1 ^º s	1 ^º s	1 ^º s	1 ^º s	1 ^º s
		10	7,80	3,40	6,12	5,32	0,44	0,58
Tarifa venda energia (€/kWh)	0,650	0,618	0,587	0,557	0,503	0,454	0,410	0,351
Pot. Ligada à Rede (MW)	-	10 a	7,8 a	3,40 a	6,12 a	5,32 a	0,44 a	0,58 a
		12,2	14,4	13,40	16,12	15,32	10,44	10,58
Tarifa venda energia (€/kWh)	-	0,587	0,557	0,529	0,478	0,431	0,389	0,334
Pot. Ligada à Rede (MW)	-	-	-	13,40 a	16,12a	15,32 a	10,44 a	10,58 a
				17,28	20,74	24,88	20,44	20,58
Tarifa venda	-	-	-	0,503	0,454	0,410	0,370	0,317

energia (€/kWh)								
Pot. Ligada à Rede (MW)	-	-	-	-	-	-	20,44 <i>a</i>	20,58 <i>a</i>
							29,86	30,58
Tarifa venda energia (€/kWh)	-	-	-	-	-	-	0,351	0,301
Pot. Ligada à Rede (MW)	-	-	-	-	-	-	-	30,58 <i>a</i>
								35,83
Tarifa venda energia (€/kWh)	-	-	-	-	-	-	-	0,286 E assim sucessivamente

Ainda de referir, que as instalações registadas a partir da data em que seja atingido o valor limite de potência de ligação para o ano decorrente, apenas tem acesso ao regime de remuneração geral. Outro aspecto a ter em conta é que a tarifa do regime de remuneração bonificado nunca pode ser inferior à tarifa do regime de remuneração geral, e no ano em que a ligação do sistema é efectuada e nos 5 anos posteriores garante-se a tarifa de venda de energia à rede em vigor na data de ligação. Nos 10 anos seguintes, garante-se a tarifa de venda de energia à rede em vigor a 1 de Janeiro de cada ano para as novas instalações e após este período de 10 anos é aplicada a tarifa do regime remuneratório geral em vigor (Hora 2010).

O custo de investimento associado aos sistemas fotovoltaicos é normalmente traduzido em termos da potência de pico instalada, €/Wp. Este custo engloba os custos dos módulos solares, inversor e as estruturas de suporte dos módulos solares. Segundo Castro (2007) e tendo em conta dados da AIE, o custo dos módulos solares situa-se entre os 3,2 €/Wp e os 4 €/Wp enquanto o custo do sistema “completo” ronda os 5,6 €/Wp (R. Castro 2007). Dados da companhia internacional de pesquisa e consultoria em energia solar, SolarBuzz, traduzem o custo dos módulos solares fotovoltaicos na Europa, em Agosto de 2010, na casa dos 4,11 €/Wp. Por aqui se constata que a evolução dos preços dos módulos solares fotovoltaicos, no que diz respeito à sua descida, tem sido lenta ao contrário das expectativas esperadas.

Uma vez que a aplicação informática possui preços para as várias opções de inversores disponíveis, apenas se adoptará o custo unitário para os módulos solares, o qual segundo Castro (2007) se situa nos extremos da gama de variação actualmente aceite como representativa para módulos ligados à rede, 4,5 €/Wp considerado como valor optimista e 6,5 €/Wp considerado como valor pessimista (R. Castro 2007). No entanto, como se dispõe de valores actualizados para a Europa considera-se, na presente dissertação, o valor unitário de 4,11 €/Wp como o custo unitário para módulos solares fotovoltaicos.

Os custos de operação e manutenção podem variar de sistema para sistema, mas pode estimar-se que se situem, em média, aproximadamente entre 1 a 2 % do investimento

efectuado. Irá considerar-se para os encargos de operação e manutenção o valor de 1 % do investimento, estando esta consideração de acordo com o estipulado em Castro (2007).

No que diz respeito à taxa de actualização, é característico do sector adoptar o valor de 7 a 8% (R. Castro 2007) (Sousa 2009). Adoptar-se-á o valor de 7 % para a taxa de actualização nos cálculos económicos para o referido sistema. Quanto aos incentivos, estes são traduzidos numa taxa de 30%, conforme estipulado no novo artigo 85.º -A do código do imposto sobre o rendimento das pessoas singulares (IRS), com um máximo de 803 € para estes sistemas.

3.4.2 – Solar Térmico

Na análise económica de um sistema solar térmico é necessário ter em conta que a vida útil destes sistemas é inferior ao tempo de vida útil dos sistemas supracitados. Admitindo-se uma boa manutenção do sistema o tempo de vida útil a considerar para os sistemas de aquecimento de águas sanitárias é de aproximadamente 15 anos. Além disso, convém lembrar que as necessidades de água quente são maiores durante o período de inverno, onde a disponibilidade do recurso é menor, o que leva à existência de consumo de energia de fontes auxiliares. Também de referir, que não é possível contabilizar toda a produção anual de energia para aquecimento de água sanitária mas apenas aquela que é utilizada (Camus e Eusebio 2008). Assim, a viabilidade económica destes sistemas pode ser determinada efectuando uma comparação do valor total do investimento adicionado do valor dos custos de operação e manutenção, com os correspondentes valores de poupança de energia auxiliar totais, ambos expressos em função do tempo de vida útil do sistema e convertidos para valores presentes, ou seja para valores actualizados aos dias de hoje. Os custos totais do sistema, actualizados para o presente, podem ser expressos por (Camus e Eusebio 2008)

$$Custos_{presentesST} = Inv \times (1 - \varepsilon) + k \times b \quad (44)$$

onde Inv representa o investimento efectuado, k o valor dos custos anuais de operação e manutenção, ε representa os incentivos dados pelo estado, actualmente e segundo o novo artigo 85.º -A do código do imposto sobre o rendimento das pessoas singulares (IRS), é de 30 % com limite máximo de 803 € e b é um factor anual que contempla a taxa de desvalorização do mercado e a inflação média anual. O factor b traduz-se na seguinte equação (Camus e Eusebio 2008)

$$b = \frac{1+r}{r-j} \times \left[\left(\frac{1+r}{1+j} \right)^n - 1 \right] \quad (45)$$

r e j foram definidos aquando da introdução da equação (43).

O valor das poupanças totais anuais, convertidas para o seu valor presente, ou seja, as poupanças anuais actualizadas, são dadas por

$$Panual_{actual.} = E_T \times \epsilon_{Eaux.} \times d \quad (46)$$

onde E_T representa a energia anual fornecida pelo sistema solar térmico, a qual se assume como constante durante todo o tempo de vida útil do sistema, $\epsilon_{Eaux.}$ é o custo unitário da energia auxiliar utilizada e d representa, de igual modo, um factor anual dado por uma equação semelhante à equação (45) com a simples substituição de r por h , e onde h representa a taxa média anual de variação do preço de mercado da energia auxiliar utilizada.

Para o cálculo das poupanças de energia auxiliar utilizada, se a opção recair sobre gás natural, utilizar-se-á o factor de conversão, para kWh, em vigor fornecido pela Lisboa gás, o qual presentemente toma o valor de 11,557573.

Para os custos de operação e manutenção admite-se um valor da ordem dos 3% do investimento efectuado, valor que está de acordo com o referido em Camus e Eusébio (2008). A taxa de actualização é, de igual modo, de 7%.

Admite-se uma taxa de inflação anual da ordem dos 3%, conforme mencionado em Camus e Eusébio (2008).

3.4.3 – Aproveitamento de Águas Pluviais

No que diz respeito à análise económica do sistema de aproveitamento de águas pluviais é necessário ter em conta os mesmos parâmetros que se tomaram em consideração para os sistemas anteriores. No entanto não existe, teoricamente, limite para o tempo de vida útil deste tipo de projecto como existe nos projectos anteriores. Os custos anuais de operação e manutenção do sistema, segundo Bertolo (2008), são da ordem dos 15 €/ano, os quais correspondem a cerca de duas horas e meia de mão-de-obra para garantir uma lavagem anual do tanque. No entanto considera-se também o valor de aproximadamente 6 €/filtro respeitante a cada filtro que compõem o sistema e sua substituição anual. Considera-se um filtro à entrada do tanque e outro à saída o que perfaz 12 €. Admite-se assim como custos anuais de operação e manutenção aproximadamente 30 €/ano.

A receita anual proveniente do sistema é dada pela seguinte expressão

$$receitas\ anuais = Volume_{Anual_aproveitado} \times \epsilon_{unitário_Água} - Custos_{O\&M} \quad (47)$$

As receitas anuais são actualizadas para o valor presente fazendo recurso da equação (42).

De igual modo, em concordância para com os outros sistemas, admite-se uma taxa de actualização de 7 %. Quanto aos custos por m³ de água obtiveram-se os valores unitários em vigor para as cidades da Guarda, Leiria, Porto e Viseu para os diversos escalões e admite-se para as restantes localizações os preços constantes no tarifário de 2010 da empresa SMAS Sintra para os diversos escalões existentes.

Salienta-se ainda que não foi tido em consideração um sistema de desinfecção da água armazenada no tanque de armazenamento, pelo que os usos de água pluvial para banhos e para uso nas máquinas de lavar fica comprometido.

CAPÍTULO 4- Descrição e Implementação da Aplicação (ECOhome-IRES4SH)

O presente capítulo abordará a concepção e Implementação prática da aplicação informática. O intuito desta ferramenta é proporcionar ao utilizador final, que decide ou demonstra previamente interesse por estas tecnologias, fazendo com que a sua habitação se torne mais sustentável quer ao nível do consumo energético quer ao nível do consumo de água da mesma e que quer basear a sua escolha ou decisão em dados credíveis, uma ajuda à sua decisão de investimento baseando esta em critérios de viabilidade económica fornecidos pela aplicação

4.1 – MODELO CONCEPTUAL DA APLICAÇÃO

O desenvolvimento desta ferramenta tem o seu foco na interligação das tecnologias renováveis disponíveis, actualmente, no mercado para integração numa habitação com o utilizador final. A figura 4.1 ilustra a abordagem utilizada para o efeito.

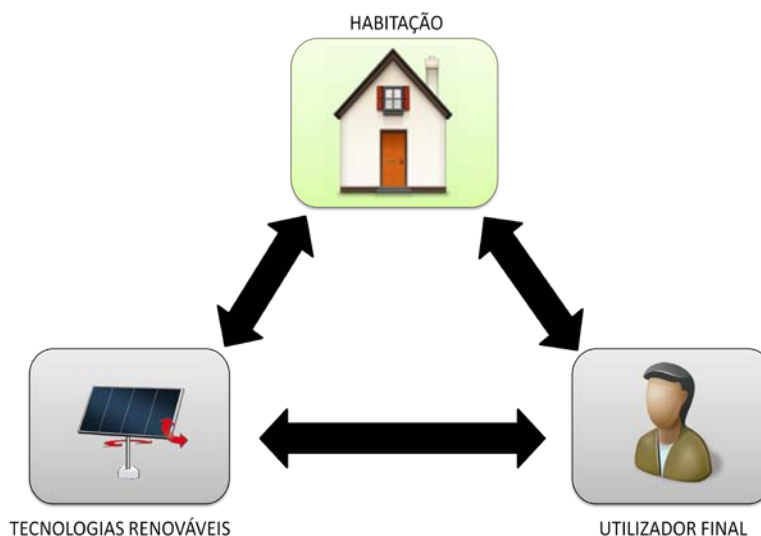


Figura 4.1 - Abordagem inicial adoptada no desenvolvimento da aplicação informática

Esta abordagem representa a base da estrutura e da forma como a aplicação foi pensada, sempre orientada tendo em conta as necessidades de satisfação das exigências do utilizador. Este, por meio de uma interface gráfica, consegue visualizar e ter o controlo das variáveis necessárias que o conduzirão a um resultado final que, pode ou não, ir ao encontro das suas expectativas.

De uma forma geral, a estrutura “macro” da aplicação baseia-se, apenas, numa única camada ou layer, entendida como a camada principal e cuja responsabilidade assenta na apresentação da aplicação e interacção (selecção/controlo e comando) com o utilizador. Tal camada pode ser entendida como sendo o ambiente de trabalho da aplicação. Dentro desta, desenvolve-se as várias secções que respeitam às diversas tecnologias de aproveitamento de energias renováveis adoptadas, ao dimensionamento e cálculos necessários a cada uma delas e, por último, aos cálculos e resultados económicos. As diversas secções são compostas por vários módulos cuja finalidade é a aquisição e introdução dos dados necessários para a posterior elaboração da análise económica do sistema seleccionado. A figura 4.2 ilustra a estrutura adoptada.

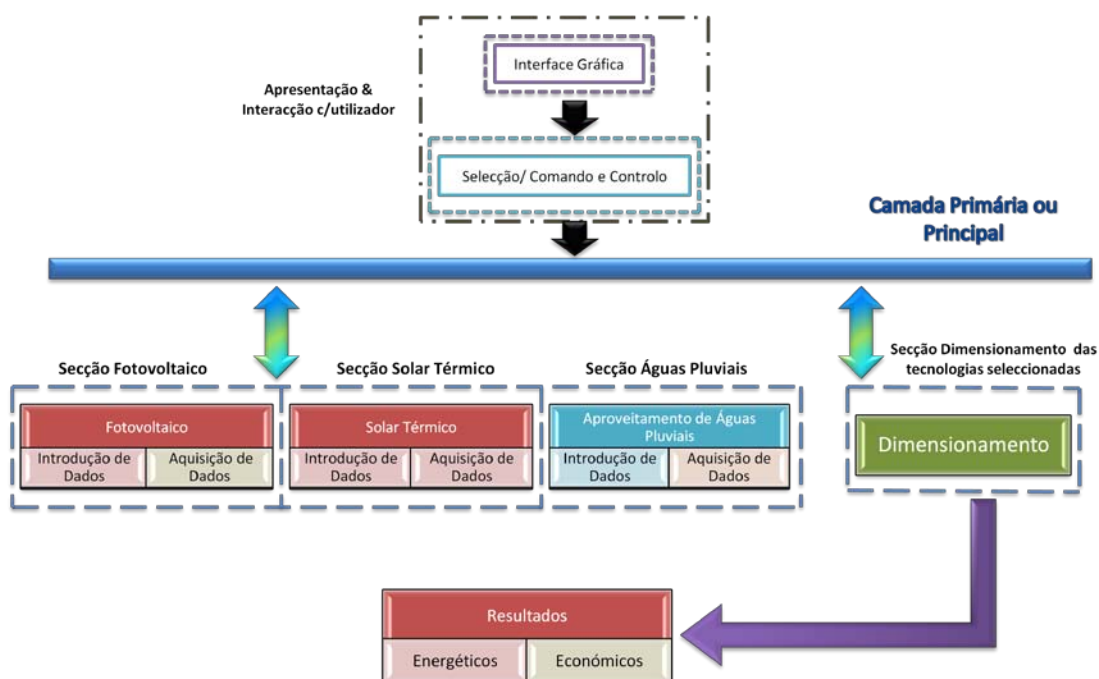


Figura 4.2 - Estrutura adoptada para o desenvolvimento da aplicação

4.1.1 - Apresentação e interacção com o Utilizador - Interface Gráfica

A interface gráfica é responsável pela interação com o utilizador, apoiando-o na escolha das diversas opções postas ao seu dispor para cada tecnologia e facilitando a visualização de dados recorrentes das suas escolhas bem como os resultados que daí advêm.

4.1.2 – Selecção/Controlo e Comando

A selecção/controlo e comando é responsável pelas ordens dadas à aplicação, via interface gráfica para a chamada das diversas secções e módulos referentes a cada tecnologia bem como a chamada da secção onde são efectuados os cálculos energéticos e o dimensionamento dos sistemas seleccionados. A secção referente à análise económica do sistema seleccionado é lançada através da secção do dimensionamento dos sistemas e não através do ambiente de trabalho da aplicação. É ainda responsável, de igual modo, pelo processo de aquisição e introdução de dados necessários requeridos ao utilizador.

4.1.3 - Introdução e Aquisição de dados

A introdução de dados pode ser efectuada de duas maneiras possíveis, ou pelo utilizador ou via leitura e importação de dados de uma base de dados (aquisição de dados). Existem dados comuns a adquirir como é o caso da radiação solar e temperatura ambiente para os sistemas fotovoltaico e solar térmico e dados meteorológicos no caso do sistema de águas pluviais e dados próprios referentes a cada sistema. No caso do sistema fotovoltaico recolheram-se dados e características de diversos módulos solares fotovoltaicos assim como

diversos dados referentes a inversores para ligação dos módulos à rede eléctrica. No caso do sistema solar térmico foram recolhidos dados de diversos colectores solares e kits completos para cada tipo de sistema. Estes dados são compostos pelos vários valores característicos de cada tecnologia, fornecidos pelos fabricantes, preços etc. Os dados de radiação e temperatura foram adquiridos online no site da comissão europeia através da aplicação gratuita PVGIS e os dados meteorológicos adquiridos online através do site do instituto da água por meio do SNIRH. Todos os dados foram recolhidos e inseridos numa base de dados constituída por um ficheiro Excel. A interface gráfica permite ao utilizador a escolha de determinado componente, dependente do sistema que seleccionou, e a aplicação realiza a pesquisa da base de dados e importa os dados característicos referentes ao componente seleccionado. A importação dos dados climáticos é realizada da mesma forma tendo em conta as hipóteses disponibilizadas ao utilizador das várias cidades e concelhos de Portugal incorporados na ferramenta informática. A figura 4.3 ilustra a situação descrita.

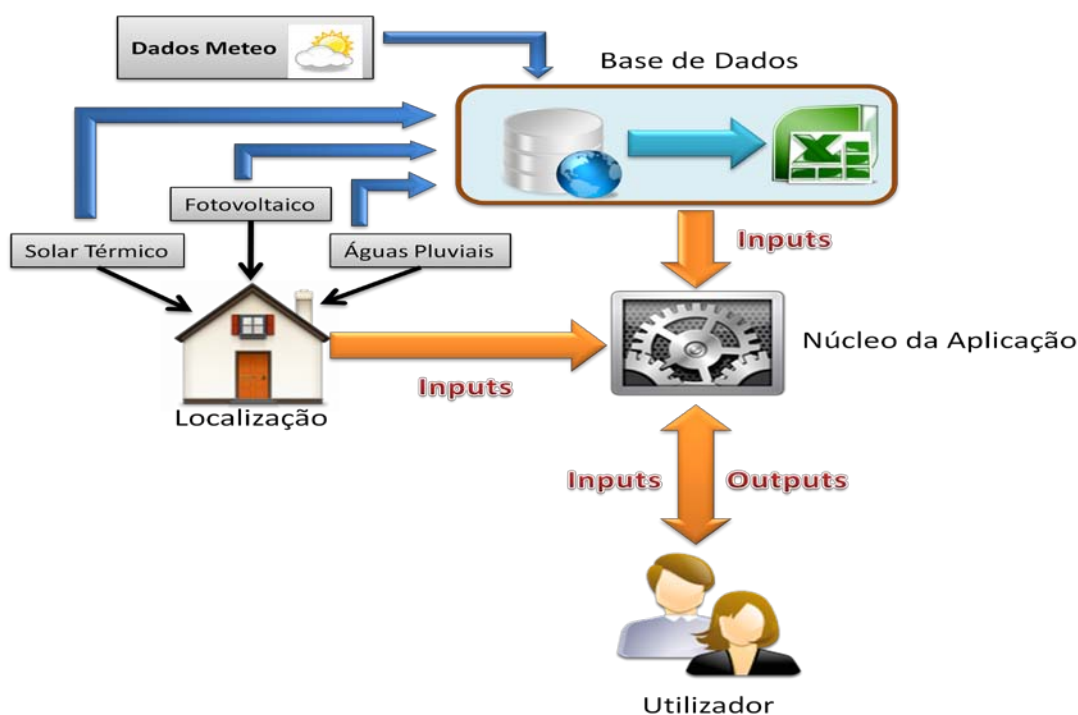


Figura 4.3 - Esquematisação da Introdução e Aquisição de Dados

O núcleo da aplicação é onde se processam todos os pedidos, ordens e respostas necessárias, ou seja, age como uma espécie de coordenador de serviços. Coordena a execução dos serviços no sentido de proporcionar uma resposta adequada para uma dada necessidade do utilizador, as quais podem envolver a selecção de determinado (s) equipamentos, os cálculos associados e a visualização dos respectivos resultados.

4.2 – IMPLEMENTAÇÃO PRÁTICA

Conforme mencionado anteriormente, a aplicação foi desenvolvida com o pensamento centrado na interligação das várias tecnologias de aproveitamento de energias endógenas e renováveis com o utilizador final. Para atingir tal objectivo, foi necessário optar

por diversas ferramentas de programação capazes de dar resposta ao objectivo proposto. Com um leque vasto disponível, actualmente, no mercado optou-se pela elaboração da aplicação informática recorrendo à plataforma de programação disponibilizada pelo MatLab.

A escolha desta aplicação recai no facto do MatLab ser um software bastante popular em computação técnica e científica, usado por engenheiros, estudantes e cientistas em todo o mundo. O seu sistema de computação é, actualmente, um dos mais poderosos no que diz respeito à sua forma de lidar com cálculos envolvidos em problemas de engenharia aliado à sua facilidade de utilização e aprendizagem.

Posto isto, desenvolveu-se uma interface gráfica capaz de proporcionar ao utilizador uma interacção simples e clara recorrendo ao Gráfico User Interface (GUI) disponibilizado por esta aplicação no sentido de ir ao encontro do objectivo estipulado oferecendo ao utilizador algum controlo das características da aplicação desenvolvida bem como a possibilidade de visualização de dados e resultados. É uma aplicação orientada para o estudo da viabilidade técnico-económica de uma habitação sustentável fazendo uso da integração de tecnologias renováveis na mesma. O ECOhome-IRES4SH foi desenvolvido recorrendo aos modelos apresentados no capítulo 3 e pode ser visto como uma aplicação que se divide em várias etapas, cada uma delas constituída por diversos módulos, que através da introdução e/ou aquisição de dados produzirá os respectivos resultados económicos. A primeira etapa disponibilizada ao utilizador, pode ser encarada como sendo o ambiente de trabalho ou a janela principal da aplicação, pois é a partir desta que se têm acesso a todas as outras à excepção das janelas referidas anteriormente. A figura 4.4 ilustra a janela principal ou a primeira etapa disponibilizada ao utilizador.



Figura 4.4 - Janela principal, ou ambiente de trabalho da aplicação desenvolvida

As letras a vermelho nesta janela indicam respectivamente o módulo de aquisição da localização da habitação (A), essencial para a aquisição correcta dos dados climáticos para as

tecnologias solares e dos dados pluviométricos associados à tecnologia de aproveitamento de águas pluviais, o módulo das tecnologias renováveis disponíveis para selecção (B) e o módulo de lançamento dos cálculos energéticos que pode ser encarado como o módulo de dimensionamento dos sistemas previamente seleccionados pelo utilizador para integração na sua habitação (C). Apesar da figura 4.4 ilustrar os diversos módulos disponíveis, inicialmente o módulo B e o módulo C estão ocultos, estando apenas visível o módulo A.

No módulo A, de escolha da localização da habitação, o utilizador efectua primeiramente a escolha do Distrito e de seguida o respectivo concelho onde a habitação se encontra ou encontrará. Estão disponíveis para selecção todos os distritos ilustrados no mapa de Portugal à excepção de Setúbal pelo facto da falta de dados. Quanto aos concelhos disponibilizados, apenas se apresentam os concelhos que possuem estações de recolha de dados, disponibilizados no site do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), pelo que o utilizador deverá seleccionar o concelho mais próximo no caso do actual não constar na lista de concelhos. Estando o concelho seleccionado o módulo B, de selecção do tipo de tecnologia renovável a instalar na habitação fica visível, permitindo ao utilizador efectuar a escolha das tecnologias que deseja instalar na sua habitação. Este, pode optar pela escolha de uma, duas ou todas as tecnologias. No caso da escolha da tecnologia fotovoltaica ser-lhe-á apresentada uma janela referente a esta tecnologia, ilustrada pela figura 4.5, na qual serão introduzidos e adquiridos dados para posterior dimensionamento do sistema e respectivo cálculo económico.

The screenshot shows the 'Fotovoltaico' application window. It is divided into three main sections labeled A, B, and C.

- Module A: LOCALIZAÇÃO DA HABITAÇÃO**
 - Fields for 'Cidade' (Aveiro) and 'Concelho' (Vale de Cambra).
 - 'Regime de Remun. Pretendido' with a dropdown menu.
 - 'Restrições de Potência' with 'Potência Contratada' (kVA) and 'Máx. Potência a Instalar (Potência de Pico)' (kW).
 - 'Anotações' text area.
 - 'CLIMATOLOGIA' section with a compass rose and 'Obter / Editar Dados Climáticos' button.
- Module B: MÓDULOS & INVERSOR A INSTALAR**
 - 'Módulos Solares' section with 'Tecnologia' dropdown (set to 'Escolha a Tecnologia Desejada') and 'Módulos' dropdown (set to 'Escolha o Módulo Fotovoltaico a Instalar').
 - 'Inversor' section with 'Tipo de Inversor' dropdown (set to 'Escolha o Tipo de Inversor a Instalar') and 'Inversor' dropdown (set to 'Escolha o Inversor a Instalar').
 - 'Esquema' section.
- Module C: CARACTERÍSTICAS DO MÓDULO SELECIONADO**
 - Two columns of input fields for 'Para Condições STC' and 'Para Condições NOCT', including Potência Máxima (P_{máx}), Tensão Máxima (V_{máx}), Corrente Máxima (I_{máx}), Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}), Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}), and temperature coefficients.
 - 'CARACTERÍSTICAS DO INVERSOR' section with fields for Potência Máxima de Entrada (P_{máx}), Tensão Máxima de Entrada (V_{máx}), Corrente Máxima de Entrada (I_{máx}), Gama de Tensões MPPT, Rendimento, and N° Máximo de Strings Ligadas em Paralelo.

At the bottom right, there are buttons for 'Continuar', 'Cancelar', and 'Ajuda'.

Figura 4.5 – Janela da tecnologia fotovoltaica

A janela referente a esta tecnologia está, de igual forma, dividida em vários módulos. No módulo A é solicitado ao utilizador a escolha do regime de remuneração que pretende, pois o dimensionamento deste sistema é feito com base nesta variável e de acordo com o Decreto-Lei nº 363/2007 de 2 de Novembro, e a potência que actualmente tem contratada

ao comercializador de energia. Conforme mencionado no capítulo 3, estão disponíveis para escolha o regime de remuneração geral e o regime de remuneração bonificado. Foi também implementado um espaço de anotações, não editável, que tem a finalidade de alertar o utilizador de alguma nota importante e que deve ser tida em conta aquando da selecção do regime de remuneração pretendido. Por exemplo, no caso de se optar pelo regime de remuneração bonificado, o utilizador será alertado da obrigatoriedade de aquisição e instalação de um sistema solar térmico com área mínima de 2 m^2 de acordo com o estipulado no referido Decreto-Lei. Escolhido o regime de remuneração o utilizador introduzirá o valor da potência que tem contratada, a qual pode ser obtida pela visualização da sua factura mensal, e obtêm a potência máxima, ou potência de pico, que lhe é permitido instalar na sua habitação no que diz respeito a esta tecnologia.

Seguidamente é necessário obter os dados climáticos para a região, ou localização, previamente seleccionada. Para isso foi implementado um botão, denominado de Dados Climáticos, que pressionado conduz o utilizador a uma nova janela onde poderá obter os respectivos dados. A figura 4.6 ilustra o descrito.

	Rad. Global Méd. Diária Horiz. (kWh/m ² .dia)	Rad. Global Méd. Diária Incl. (kWh/m ² .dia)	Temp. Média Ambiente (°C)	Temp. Média 24h	
Janeiro					
Fevereiro					
Março					
Abril					
Maio					
Junho					
Julho					
Agosto					
Setembro					
Outubro					
Novembro					
Dezembro					

Figura 4.6 – Obtenção dos dados climáticos para a tecnologia fotovoltaica

Para o dimensionamento desta tecnologia e respectiva avaliação económica é necessário o conhecimento dos dados climáticos do local onde se irá instalar o sistema. Esta janela foi implementada precisamente para o efeito, ou seja, fornecer ao utilizador o conhecimento dos dados climáticos para a região que seleccionou. Os dados serão fornecidos sob a forma de tabela e de gráfico de barras, o qual pode ser visualizado no capítulo 5 em funcionamento da aplicação. Para a aquisição dos dados implementou-se o botão “Obter Dados” que pressionado executa a pesquisa dos dados climáticos, para a localização seleccionada, numa base de dados concebida para tal. Neste caso, os dados climáticos constantes da base de dados são referentes, apenas, às cidades não sendo

considerados os concelhos. Ao pressionar o botão “Obter Dados” é facultado, também, ao utilizador o ângulo de inclinação óptimo para instalação dos módulos solares. Este ângulo não é editável e o dimensionamento do sistema a efectuar, numa outra etapa, será feito com base neste ângulo. O botão “Editar Dados” não foi implementado, uma vez que se parte do princípio que a maioria dos utilizadores não possui dados para este tipo de tecnologia nem tem conhecimento onde e como os pode obter, no entanto, tendo em conta que existem utilizadores com conhecimentos mais profundos nesta matéria e que tem em sua posse tais dados ou sabem como os obter, optou-se por deixar a aplicação preparada para que num futuro próximo esta opção esteja activa.

O módulo B diz respeito à escolha do sistema que deseja instalar, ou seja, é aqui que o utilizador escolhe os módulos solares fotovoltaicos que deseja bem como o inversor para ligação do sistema à rede eléctrica. Existem duas opções, a escolha de módulos solares monocristalinos ou a escolha de módulos solares policristalinos também conhecidos como multicristalinos. Dependendo da tipologia de módulo solar seleccionado será disponibilizada uma lista composta por diversos módulos solares com diferentes potências de pico por onde o utilizador pode efectuar a sua escolha. Após esta escolha, o utilizado pode avançar para a selecção do inversor. Aqui, de igual modo, são disponibilizadas duas opções, a primeira, a hipótese de escolha de um inversor com transformador e a segunda, a hipótese de escolha de um inversor sem transformador. A diferença reside no facto do tipo de protecção e isolamento necessário no local de instalação e no preço final de cada tipologia bem como a potência do inversor necessária. À semelhança do que acontece na escolha dos módulos solares, depois de seleccionada a tipologia do inversor serão disponibilizados vários inversores de diversas potências sobre os quais poderá recair a escolha do utilizador. Para facilitar esta escolha, implementou-se uma caixa de texto, não editável, que dará a informação da potência recomendada que deverá possuir o inversor, pelo que o utilizador apenas terá de escolher um inversor, do leque dos inversores disponibilizados, com potência superior à potência recomendada.

O módulo C, não editável, é um módulo de visualização de informação ou de dados técnicos que respeitam aos componentes escolhidos para o sistema a instalar por parte do utilizador. Depois da escolha do módulo solar fotovoltaico podem ser visualizados neste módulo os parâmetros mais importantes e necessários para o posterior dimensionamento do sistema, como por exemplo a potência de pico, a tensão máxima, a corrente máxima, a tensão de circuito aberto, a corrente de curto-circuito etc., e após a escolha do inversor poderão ser visualizados, de igual forma, os parâmetros característicos mais importantes do inversor, como por exemplo, a tensão máxima de entrada, a potência máxima, a gama de tensões para o seguimento do ponto de máxima potência etc. Implementou-se ainda, no fim das escolhas dos componentes, um pequeno esquema de ligação do sistema à rede no sentido de proporcionar ao utilizador uma melhor compreensão da forma de ligação dos componentes entre si e do sistema em geral que acabou de seleccionar, o qual pode ser visualizado no capítulo seguinte em “funcionamento da aplicação”.

No caso do utilizador demonstrar interesse na instalação do sistema solar térmico, quer seja por obrigação – escolha do sistema solar fotovoltaico no regime bonificado – quer seja por sua livre opção, ser-lhe-á apresentada uma janela, ilustrada pela figura 4.7, e na

qual serão introduzidos e adquiridos dados para posterior dimensionamento e análise económica do sistema. Para tal, analogamente à tecnologia anterior, foram implementados diversos módulos de maneira a proporcionar ao utilizador uma interacção clara e amigável.

Figura 4.7 – Janela da tecnologia solar térmica

O módulo A diz respeito à tipologia da habitação que o utilizador possui. Esta variável representa a chave do cálculo das necessidades energéticas da habitação e do cálculo do consumo médio de referência. O Utilizador apenas terá de seleccionar o tipo de habitação que corresponde à sua habitação real. Com a escolha da tipologia da habitação efectuada tornar-se-á visível para o utilizador o número de habitantes correspondente à tipologia de habitação seleccionada, de acordo com o estipulado no RCCTE, bem como o consumo médio diário de referência da habitação. Estes campos servem apenas de informação e não são editáveis, os mesmos podem ser visualizados no capítulo seguinte em “funcionamento da aplicação”. No entanto, no caso da situação real do utilizador ser diferente e não se enquadrar no referido regulamento, está previsto uma forma de o utilizador poder inserir o número de habitantes da sua habitação e proceder aos cálculos de acordo com os dados inseridos mas, na aplicação desenvolvida, por enquanto apenas se disponibiliza a escolha da tipologia da habitação e o número de habitantes fornecido ao utilizador de acordo com o estipulado na legislação em vigor. No caso do utilizador, previamente, ter seleccionado o sistema fotovoltaico não é necessário obter os dados climáticos, pois são os mesmos para esta tecnologia. O mesmo acontece no caso oposto, se previamente seleccionar o sistema solar térmico e posteriormente o fotovoltaico. A inclinação é o ângulo óptimo para a região,

ou localização anteriormente seleccionada e o azimute pode ser editável pelo utilizador, uma vez que nem todas as habitações têm a possibilidade de orientação dos colectores a sul. Posteriormente o utilizador pode avançar para a escolha do tipo de sistema que deseja instalar o que corresponde ao módulo B. neste módulo foram implementados e disponibilizados dois tipos de sistemas, sistemas em Termossifão e sistemas em Circulação forçada. Após a selecção do tipo de sistema pode-se avançar para a escolha do colector solar desejado. Para tal são disponibilizados diversos fabricantes de colectores solares e o utilizador necessita saber se possui uma cobertura plana ou inclinada na sua habitação pois os sistemas diferem em ambos os casos. Com a escolha do tipo de cobertura, é disponibilizada uma lista de colectores para a opção de cobertura seleccionada e será visível um pequeno esquema de ligação dos componentes entre si e do sistema em geral de forma a proporcionar ao utilizador um melhor entendimento do sistema que acabou de seleccionar.

O módulo C, não editável, à semelhança do que acontece com a tecnologia fotovoltaica, é um módulo de visualização de informação ou de dados técnicos respeitantes aos componentes seleccionados pelo utilizador, neste caso, o utilizador poderá visualizar os parâmetros principais do colector solar que seleccionou, como por exemplo, o rendimento óptico, os coeficientes de perdas, a área total, a pressão de funcionamento, etc. Após a escolha do colector fica visível, também, o volume do depósito necessário para suprir as necessidades de água quente da habitação, o qual pode ser visualizado no capítulo seguinte.

No caso da escolha da tecnologia de aproveitamento de águas pluviais ser-lhe-á apresentada uma janela referente a esta tecnologia, ilustrada pela figura 4.8, na qual serão introduzidos e adquiridos, como acontece com as tecnologia anteriores, dados para posterior dimensionamento do sistema e respectivo cálculo económico.

Figura 4.8 – Janela da tecnologia de aproveitamento de águas pluviais

A janela respeitante a esta tecnologia não foi marcada com as letras A, B, C, apesar de ter sido implementada recorrendo a vários módulos também. A razão desta escolha recai no facto desta janela ser praticamente toda editável, ou seja, o utilizador terá de introduzir todos os valores necessários e não existe nenhum módulo de visualização de dados técnicos como nas tecnologias anteriores. Antes de mais, é solicitado ao utilizador o Nº de habitantes, ou ocupantes, da habitação, o qual, se o utilizador escolheu o sistema solar térmico é dado pela tipologia da habitação que seleccionou, caso contrário terá de introduzir o número de habitantes da sua habitação. De seguida, terá de introduzir os valores dos consumos de água dos equipamentos que podem ser substituídos por água pluvial. Estes valores podem ser obtidos mediante uma estimativa, o mais real possível, do consumo de água da sua habitação nos usos compatíveis com água pluvial, os quais estão de acordo com o estipulado no capítulo 2 e 3. Todavia, foram implementados botões que contêm o valor de referência no sentido de facilitar a obtenção destes dados ao utilizador, mas convém efectuar sempre a estimativa referida. Os botões dos valores de referência para cada equipamento ao serem pressionados inserem este valor no campo respectivo. Os valores de referência adoptados foram os descritos no capítulo 3 em estimativa do consumo da habitação. Implementou-se também os botões de “consumo total” que fornecem ao utilizador o valor total parcial do consumo de água dos vários equipamentos e o botão “consumo de água” que fornece o valor total do consumo de água da habitação que o sistema de aproveitamento de água pluvial terá de suprir.

Analogamente às outras tecnologias, é necessário conhecer os níveis de pluviosidade do local onde se instalará o sistema no sentido de o poder dimensionar e obter a respectiva

avaliação económica, e do mesmo modo, implementou-se uma janela, ilustrada na figura 4.9, acedida através do botão “Dados de Precipitação” para cumprir com esta finalidade.

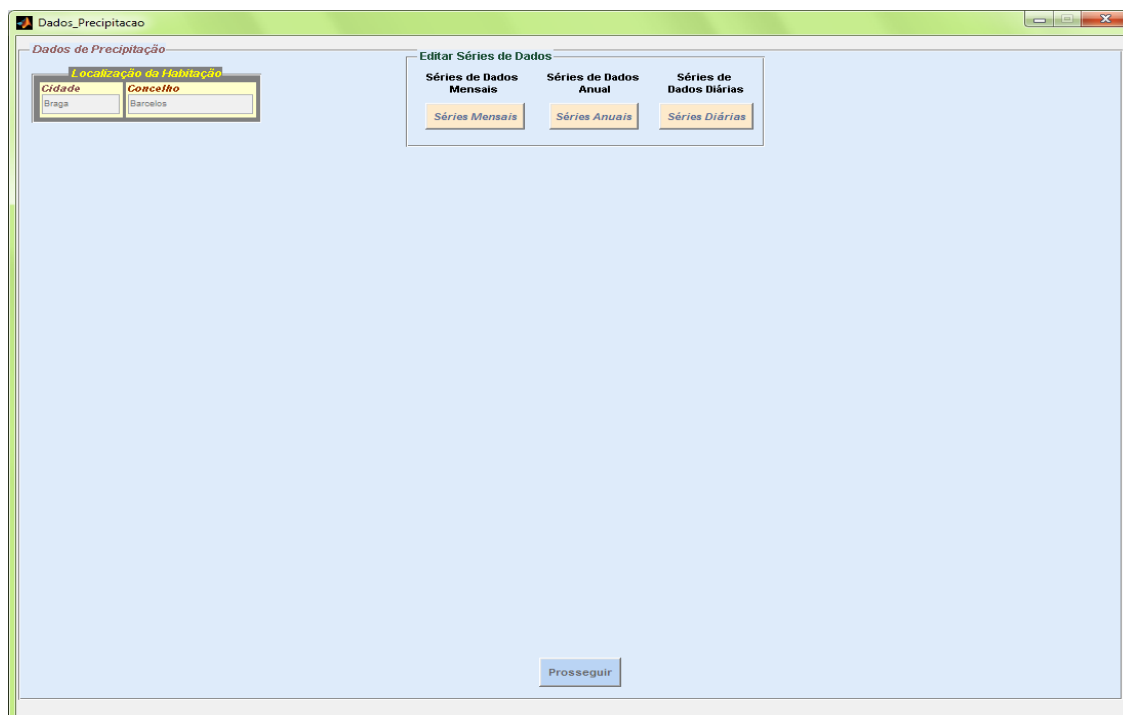


Figura 4.9 – Obtenção dos dados pluviométricos para a localização seleccionada pelo utilizador

De igual forma, os dados serão fornecidos sob forma de tabela e de gráfico de barras, os quais podem ser visualizados no capítulo 5 em funcionamento da aplicação. Para a aquisição dos dados implementaram-se os botões das séries de dados anuais e mensais. O botão da série de dados diários não foi implementado, mas este tem o mesmo objectivo e parte do mesmo princípio estabelecidos para o botão de edição de dados na obtenção dos dados climáticos. Estão assim disponíveis para selecção as séries de dados anuais e as séries de dados mensais. Os respectivos botões quando pressionados executam a pesquisa dos dados de precipitação, para a localização seleccionada, numa base de dados concebida para tal. Os dados constantes na base de dados são respectivos a cada concelho seleccionado. Posteriormente é necessária a introdução da área de captação de água pluvial, o tipo de superfície de recolha e o coeficiente de escoamento. Para tal será facultado ao utilizador uma lista composta pelos diversos tipos de superfície disponíveis e, após esta selecção, uma lista com os respectivos coeficientes de escoamento seleccionáveis pelo utilizador. Depois deste passo é necessário, ainda, a definição do tempo de estiagem para o sistema e a eficiência hidráulica de filtragem. Para ambas, foram implementados botões com valores de referência no sentido de auxiliar o utilizador. Ainda com este intuito, foi implementado uma pequena caixa de texto com a finalidade de ajudar o utilizador na percepção destes conceitos, ou seja, a caixa de texto contém as definições de cada item.

No final da introdução de dados, é facultado ao utilizador, à semelhança do que acontece para as outras tecnologias, um pequeno esquema que ilustra a ligação dos componentes entre si e do sistema em geral, visível no capítulo seguinte, e que permite ao utilizador uma melhor compreensão do sistema que acabou de seleccionar.

Com as escolhas das tecnologias renováveis para introdução na habitação finalizadas, pode então avançar-se para a etapa seguinte que engloba os cálculos energéticos e pluviais ou o dimensionamento dos sistemas. Esta camada, ou janela, foi desenvolvida apenas para fornecer uma visualização do sistema final a implementar e daquilo que cada tecnologia pode produzir, sob as condições seleccionadas nas etapas anteriores, não sendo editável pelo utilizador e a qual servirá de base à etapa final, análise económica dos sistemas seleccionados. A figura 4.10 ilustra esta janela.

The screenshot shows a software interface for energy and water calculations. It is divided into three main columns, each representing a different technology: PHOTOVOLTAIC, SOLAR THERMAL, and RAINWATER. Each column contains a list of parameters to be selected or entered, followed by a 'Calcular' (Calculate) button. Below the input fields are three empty coordinate grids for visualization. At the bottom right, there is an 'Análise Económica' (Economic Analysis) button and 'OK'/'Cancelar' (Cancel) buttons.

Figura 4.10 – Janela referente aos Cálculos energéticos e pluviais ou ao dimensionamento dos sistemas escolhidos

No desenvolvimento desta etapa criaram-se 3 módulos, um para cada tecnologia e que contêm, em comum, um pequeno resumo das escolhas efectuadas ao longo das etapas anteriores e de seguida o dimensionamento para cada tecnologia. Esta janela é chamada através da janela principal que, após as escolhas das tecnologias desejadas activa um botão, botão “Prosseguir”, que, quando pressionado, torna visível o módulo C da janela principal (ver figura 4.4). Com o aparecimento do módulo C na janela principal, é activado o botão “Calcular” desenvolvido e implementado para chamar a janela dos cálculos energéticos e pluviais, aparecendo esta janela ao utilizador com os campos referentes às escolhas efectuadas (resumo) já preenchidos. Conforme mencionado anteriormente, esta é uma janela apenas de visualização de informação. No entanto é necessário efectuar os cálculos

do dimensionamento dos sistemas. Para isso, foram implementados três botões, um para cada tecnologia, denominados de “Calcular” que quando pressionados efectuem estes cálculos e preencham os campos necessários de forma a que o utilizador consiga visualizar toda a informação. Os resultados (informação) são facultados sob a forma numérica e também graficamente, pois entende-se que a visualização dos resultados sob a forma gráfica produz um melhor entendimento das capacidades de produção de cada tecnologia. Finalizada esta etapa, pode avançar-se para a etapa final a qual engloba os cálculos económicos referentes aos sistemas previamente seleccionados. Para aceder à etapa final implementou-se o botão “Análise Económica”, visível na figura 4.10 que, quando pressionado, conduz o utilizador à janela ilustrada na figura 4.11.

Figura 4.11 – Janela referente à Análise Económica dos sistemas seleccionados pelo utilizador

A metodologia seguida na implementação desta janela é semelhante à adoptada nas outras janelas constituintes desta aplicação, ou seja, desenvolveu-se esta janela recorrendo a diversos módulos.

O módulo A diz respeito à avaliação económica de cada tecnologia, solicitando ao utilizador a introdução dos parâmetros necessários, como por exemplo o tempo desejado para a vida útil do projecto (ou para a tecnologia seleccionada), custos de operação e manutenção, etc. Quanto aos custos da “matéria-prima”, no caso da tecnologia fotovoltaica

o valor para a tarifa de venda de energia à rede é facultado ao utilizador mediante a escolha do ano em que este prevê a ligação do sistema à rede eléctrica. No caso do sistema solar térmico implementou-se uma lista que disponibiliza ao utilizador duas opções, a primeira, a substituição de gás natural para aquecimento de águas sanitárias e a segunda, a substituição de electricidade. Conforme a escolha será disponibilizada outra lista que, no caso da substituição do gás natural, disponibiliza a escolha do escalão em que a habitação do utilizador se encontra e faculta o custo unitário do kWh do gás e no caso da electricidade apresenta o valor unitário do custo do kWh. No caso do sistema de aproveitamento de águas pluviais, é facultado ao utilizador uma lista para selecção da localização e posteriormente uma lista para selecção do escalão de consumo de água em que a habitação se encontra. Após esta escolha, torna-se visível o custo unitário do m³ de água. Implementou-se um botão, denominado de “Calcular” que ao ser pressionado efectua os cálculos económicos respectivos e fornece ao utilizador a informação do investimento necessário, dos benefícios anuais de cada tecnologia e dos respectivos benefícios actualizados tendo em conta o tempo de vida útil adoptado para o projecto. Os custos de operação e manutenção, no caso dos sistemas fotovoltaicos e solares térmicos dados em percentagem e no caso do sistema de aproveitamento de águas pluviais dados em euros, são introduzidos por defeito tendo em conta os pressupostos admitidos no capítulo 3 em “Modelo Económico”, ou seja, os espaços correspondentes a esta variável aparecem preenchidos com o valor adoptado como referência após a chamada desta janela. No entanto, os mesmos são editáveis pelo utilizador podendo este introduzir um valor para esta variável. O mesmo se passa no que diz respeito à taxa de actualização.

O módulo B diz respeito a avaliação económica do sistema como um todo, ou seja, tendo em conta o número de tecnologias que o utilizador seleccionou para instalação na sua habitação. Neste módulo implementou-se um painel que fornece a possibilidade de o utilizador poder efectuar a análise económica de todo o sistema recorrendo ao financiamento. Este painel está oculto e apenas se torna visível com a selecção da caixa de verificação “Projecto Financiado” conforme se visualiza na figura 4.11. Posteriormente implementou-se o botão “Calcular” que, quando pressionado, efectua os cálculos económicos referentes ao sistema global fornecendo ao utilizador os indicadores de decisão de investimento, como por exemplo o valor actual líquido do projecto (VAL), o tempo de retorno do capital, os benefícios adquiridos pela instalação e uso das tecnologias seleccionadas etc. Ao mesmo tempo, é ilustrado o gráfico do “cash-flow” do sistema que permite ao utilizador verificar os fluxos monetários e o tempo de retorno do capital investido.

O módulo C diz respeito a uma habitação standard. Foi implementado com o intuito de estabelecer uma comparação entre os dois tipos de habitação, com incorporação de tecnologias renováveis e sem incorporação destas tecnologias. Neste módulo o utilizador apenas introduz os respectivos consumos da habitação e através dos botões “Calcular” determina os encargos da sua habitação. Os painéis implementados para este efeito estão inicialmente ocultos, tornando-se visíveis com a activação da caixa de validação de cada energia primária consumida na habitação e apenas se o utilizador demonstrar interesse em efectuar a comparação entre os dois tipos de habitação.

CAPÍTULO 5- Funcionamento da Aplicação (ECOhome-IRES4SH)

Neste capítulo ilustrar-se-á o funcionamento da aplicação desenvolvida. Escolheu-se, a título de exemplo, a cidade de Aveiro e o Concelho de Vale de Cambra e ter-se-á em conta todas as tecnologias renováveis disponibilizadas pela mesma para introdução numa habitação.

5.1 – SISTEMA FOTOVOLTAICO

No caso da tecnologia fotovoltaica optou-se pela escolha do regime de remuneração bonificado, potência contratada ao comercializador de energia de 6,9 kVA, tecnologia dos módulos solares monocristalina (c-Si) e inversor com transformador para ligação do sistema à rede eléctrica. A figura 5.1 ilustra o procedimento efectuado.

LOCALIZAÇÃO DA HABITAÇÃO

Cidade: Aveiro Concelho: Vale de Cambra

Regime de Remun. Pretendido

Regime Bonificado

Restrições de Potência

Potência Contratada: 6.9 kVA

Máx. Potência a Instalar (Potência de Pico): 3.45 kW

CLIMATOLOGIA

Obter / Editar Dados Climáticos

Dados Climáticos

MÓDULOS & INVERSOR A INSTALAR

Módulos Solares

Tecnologia: Monocristalina

Módulos: Isototon IS180

Potência Recomendada para o Inversor: 3105 W

Inversor

Tipo de Inversor: Inversor com Transformador

Inversor: Sunny Boy 3800

Esquema

Diagrama de ligação: Casa de Fúvel, Módulos Solares, Inversor, Contador de Energia consumida da rede, Contador de Energia injectada na rede, Rede Eléctrica.

CARACTERÍSTICAS DO MÓDULO SELECIONADO

Para Condições STC

Potência Máxima (Pmáx): 180 W

Tensão Máxima (Vmáx): 36.5 V

Corrente Máxima (Imáx): 4.93 A

Tensão de Circuito Aberto (Voc): 45.2 V

Corrente de Curto-Circuito (Isc): 5.3 A

Coef. de Temp. para a Corrente de Curto-Circuito: 0.001346 A / °C

Coef. de Temp. para a Tensão de Circuito Aberto: -0.170856 V / °C

Coef. de Temp. para a Potência: -0.48 W / °C

Para Condições NOCT

Potência Máxima (Pmáx): 129 W

Tensão Máxima (Vmáx): 32.7 V

Corrente Máxima (Imáx): 3.94 A

Tensão de Circuito Aberto (Voc): 41.1 V

Corrente de Curto-Circuito (Isc): 4.27 A

Coef. de Temp. para a Corrente de Curto-Circuito: NOCT 47 °C

CARACTERÍSTICAS DO INVERSOR

Potência Máxima de Entrada (Pmáx): 4040 W

Tensão Máxima de Entrada (Vmáx): 500 V

Corrente Máxima de Entrada (Imáx): 20 A

Gama de Tensões MPPT: 200 a 400 V

Rendimento: 94.7 (%)

Nº Máximo de Strings Ligadas em Paralelo

Botões: Continuar, Cancelar, Ajuda

Figura 5.1 – Introdução e aquisição de dados para o sistema solar fotovoltaico

Após a escolha do regime de remuneração pretendido e da introdução da potência contratada, torna-se visível a potência máxima, ou potência de pico, que o utilizador pode instalar na sua habitação no que diz respeito a esta tecnologia e é visível na caixa de anotações uma nota que o alerta para a obrigatoriedade da aquisição e instalação de um sistema solar térmico com área mínima de 2 m² conforme se mencionou no capítulo anterior. Antes da escolha dos módulos e inversor é necessário efectuar a aquisição dos dados climáticos para esta localização, os quais são conseguidos recorrendo ao módulo “Climatologia”. A figura 5.2 ilustra os dados climáticos, como a radiação solar horizontal, inclinada, bem como o ângulo óptimo de inclinação dos módulos.

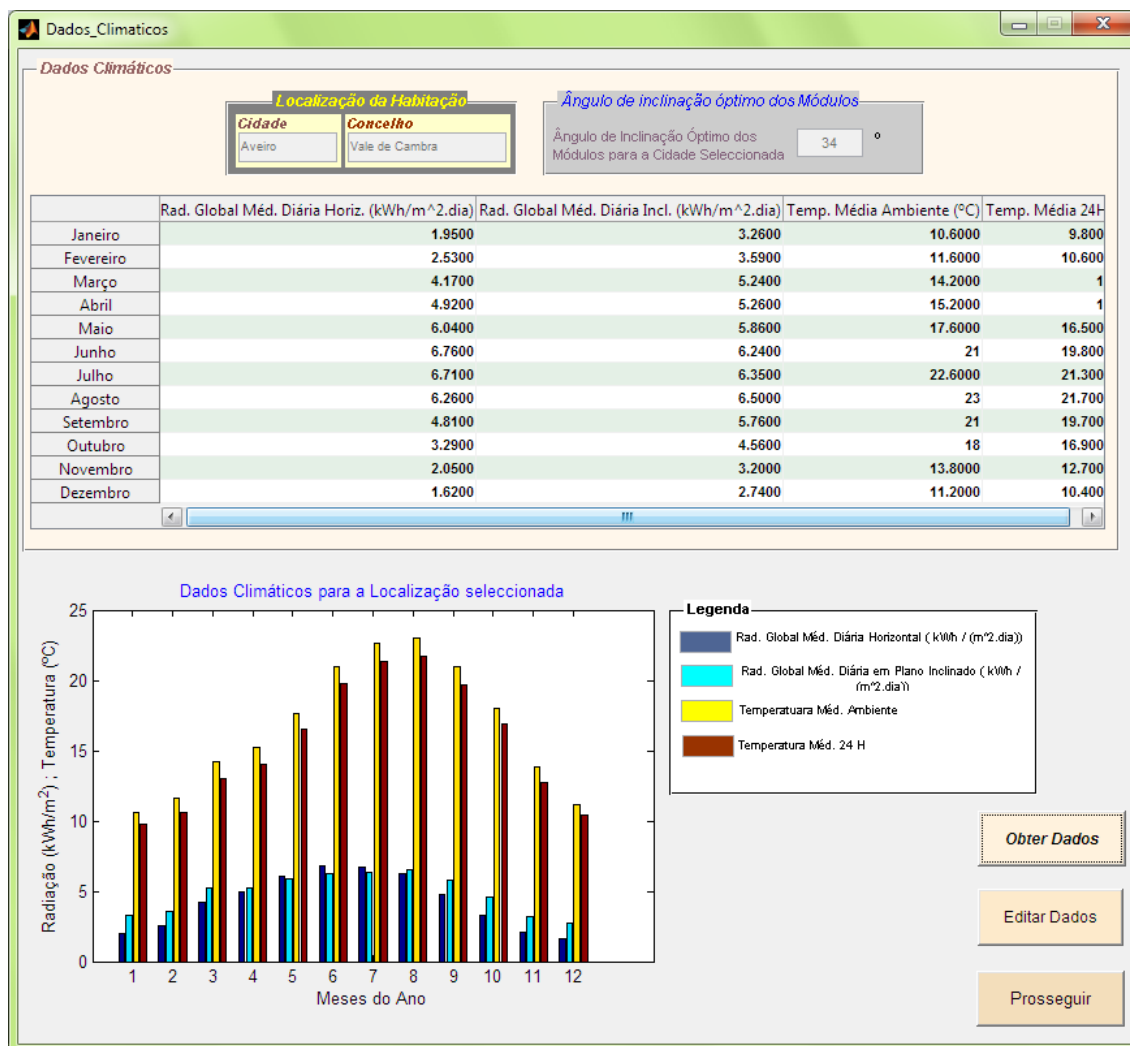


Figura 5.2 – Dados Climáticos e ângulo óptimo de inclinação dos módulos para a localização seleccionada (Aveiro, Vale de Cambra)

Com o pressionar do botão “Obter Dados” os dados climáticos são facultados ao utilizador sob a forma de tabela e sob a forma de gráfico de barras. O gráfico apresenta o conjunto de todas as variáveis climáticas apresentadas na tabela. Torna-se visível de igual modo o ângulo óptimo de inclinação dos módulos para a localização seleccionada. No sentido de uma melhor interpretação do gráfico efectua-se, aqui, a separação da componente radiação, contendo a radiação global média diária em plano horizontal e a radiação global média diária em plano inclinado ilustrada no gráfico da figura 5.3 e da componente temperatura, contendo a temperatura média ambiente e a temperatura média em 24 horas ilustrada no gráfico da figura 5.4.

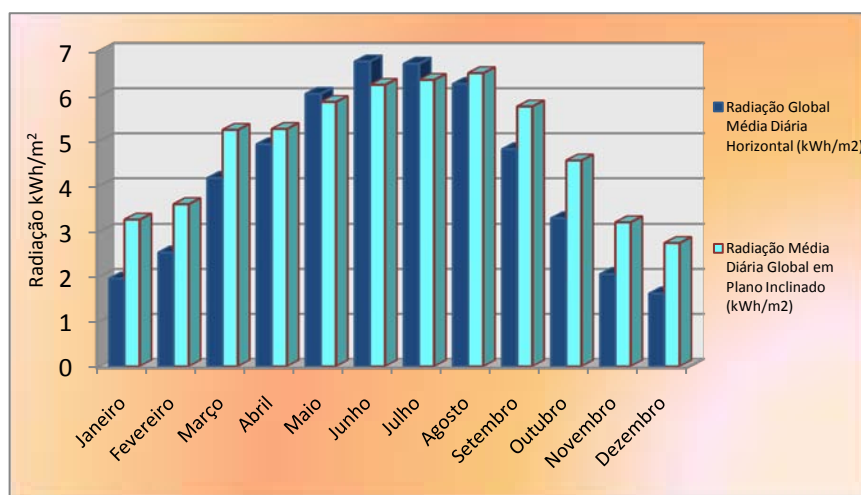


Figura 5.3 – Dados Climáticos, Radiação Global média diária em plano horizontal e em plano inclinado

Os dados de radiação, conforme mencionado atrás, são os valores médios diários para um ano verificados na localização seleccionada. Os dados da radiação global média diária em plano inclinado dizem respeito à radiação que incide no plano dos módulos, os quais se parte do princípio que serão montados no ângulo óptimo de inclinação para a localização seleccionada fornecido e visível na figura 5.3, ou seja, os dados da radiação solar global média diária em plano inclinado dizem respeito ao plano inclinado cujo ângulo de incidência corresponde ao ângulo óptimo de inclinação dos módulos. A radiação global média diária em plano horizontal é fornecida apenas para informação do utilizador, uma vez e partindo do mesmo princípio referido anteriormente, que o utilizador pode não ter acesso ou não sabe como obter estes dados para a sua localização pois muitas vezes estes são pagos ou mesmo inacessíveis, ou no caso de utilizadores mais avançados é um dado importante pois é desta componente que se parte para o cálculo da radiação para qualquer outro valor de plano inclinado. É também fornecido com o intuito de deixar a aplicação preparada para num futuro poder ser implementado o modelo de cálculo da radiação incidente em qualquer plano inclinado.

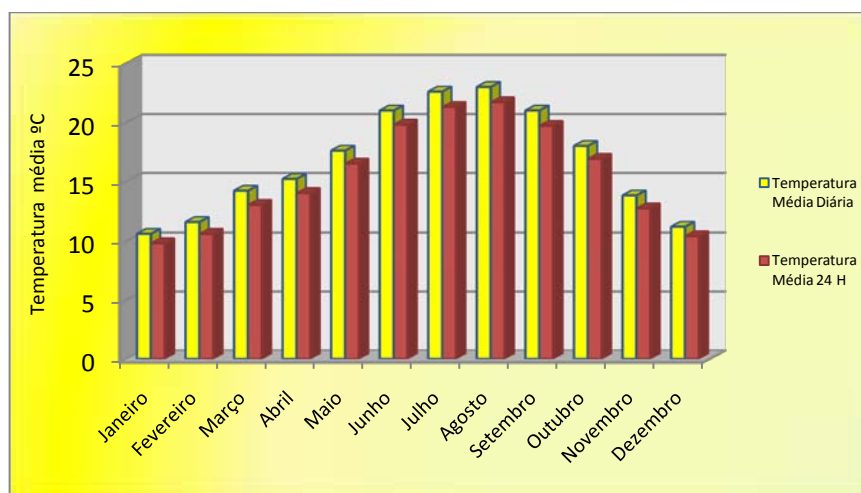


Figura 5.4 – Dados Climáticos, Temperatura média ambiente e temperatura média em 24 horas

Quanto às temperaturas são visíveis a temperatura média ambiente que ocorre num mês (Temperatura Média Diária) para a localização seleccionada e a média diária do respectivo mês (Temperatura Média 24 H). As temperaturas são essenciais no cálculo da potência do painel fotovoltaico uma vez que esta decai à medida que a temperatura aumenta.

De seguida seleccionou-se a tecnologia monocristalina, conforme dito anteriormente, e escolheu-se, de entre a lista de módulos disponibilizada para esta tecnologia o módulo Isofoton IS 180 ficando visível, de imediato, as características técnicas referentes a este módulo como se pode visualizar pela figura 5.1. São disponibilizadas tanto as características em condições standard como as características para as condições nominais de operação. Fica também visível ao utilizador o valor de referencia para a potência que deve tomar o inversor, pelo que o próximo passo é a escolha do inversor. Escolheu-se, conforme mencionado anteriormente, um inversor com transformador e escolheu-se, de entre a lista de inversores disponibilizada, o inversor Sunny Boy 3800, pelo que, logo após esta escolha são fornecidos de igual modo as características técnicas deste equipamento, conforme se visualiza na figura 5.1, e é facultado ao utilizador um pequeno esquema de ligação do sistema que acabou de seleccionar conforme dito no capítulo anterior.

Todos os parâmetros necessários a este sistema estão introduzidos e adquiridos, pelo que o utilizador pode avançar para a escolha da próxima tecnologia que deseja instalar na sua habitação.

5.2 – SISTEMA SOLAR TÉRMICO

No caso desta tecnologia, admitiu-se uma habitação de tipologia T3, optou-se pela escolha de sistemas de circulação forçada para instalação em coberturas planas. Escolheu-se o fabricante AS Solar Ibérica e o colector solar AS-EFK 2.2. Após a selecção da tipologia da habitação torna-se visível o número de habitantes da mesma e é facultado também ao utilizador a informação do consumo médio diário para a tipologia que seleccionou, conforme descrito no capítulo anterior. A figura 5.5 ilustra o descrito.

Solar_Termico

Localização da Habitação

Cidade: Aveiro Concelho: Vale de Cambra

CARACTERÍSTICAS DA HABITAÇÃO

Escolha a Tipologia da sua habitação

TIPOLOGIA DA HABITAÇÃO

☐ T0 ☐ T1 ☐ T2

☒ T3 ☐ T4 ☐ T5

NÚMERO DE OCUPANTES

Número de Ocupantes da Habitação consuante a tipologia da Habitação

4

CLIMATOLOGIA

Ver / Editar Dados Climáticos

Dados Climáticos

Orientação & Inclinação

Inclinação: 34°

Azimuth: Sul

Cancelar Continuar

SISTEMA A INSTALAR

Escolha o Tipo de sistema que deseja instalar na sua habitação

TIPO DE SISTEMA

Sistema Circulação Forçada

COLECTOR SOLAR

AS Solar Ibérica

Tipo de Cobertura

Cobertura Plana

Colector Solar

AS -EFK 2.2

CARACTERÍSTICAS DO COLECTOR

Colector Plano

Área Total: 2.24 m²

Área de Abertura: 2.01 m²

Temperatura Estancamento: NaN °C

Pressão Máx. Funcionamento: 10 bar

Editar Colector Editar

Rendimento Óptico: 76.5 (%)

Tratamento Selectivo

Absorção: 95 (%) Emissão: 5 (%)

Coefficientes de Perdas do Colector

Coef. global de perdas: 3.89 a1 ou (UL) Coef. secund. de perdas: 0.0133 a2

(W / m² / °K) (W / m² / °K²)

Consumo Médio Diário

Consumo médio diário (L/dia): 160

Volume do depósito de armazenamento

Volume do Depósito de AQS (L): 240

Esquema

The schematic diagram illustrates the solar thermal system components and their connections. It includes a solar collector (Colector Solar) with a temperature sensor (Sonda Temperatura) and a differential control unit (Controlo Diferencial). The system is powered by a circulation pump (Bomba Circuladora). The storage tank (Depósito Acomulador) is equipped with a temperature sensor (Sonda Temp.) and a differential control unit (Controlo Diferencial). The tank is connected to a hot water supply (Água Quente) and a cold water supply (Água Fria) from the network (REDE). The tank also has an electrical support (Res. Eléctrica (Apoio)).

Figura 5.5 – Introdução e aquisição de dados para o sistema solar térmico

Neste caso, uma vez que o utilizador efectuou a escolha de instalação de um sistema solar fotovoltaico, não é necessário recorrer à aquisição dos dados climáticos, pois os mesmos já foram adquiridos anteriormente e são iguais para este caso na medida em que a localização é a mesma. Com a escolha do colector solar finalizada aparece, de imediato, as características técnicas do colector bem como o volume do depósito de armazenamento de água quente necessário e, ainda, um pequeno esquema que ilustra, de forma simples, a ligação dos componentes e do sistema que o utilizador acabou de seleccionar.

Posto isto, todos os parâmetros necessários para este sistema estão introduzidos e adquiridos pelo que se pode passar à escolha da próxima tecnologia renovável.

5.3 – SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Para este sistema admite-se a mesma tipologia de habitação tida em conta para o sistema solar térmico e que os Wc's da habitação estão equipados com vasos sanitários de dupla descarga e com chuveiros de baixo consumo. Os valores introduzidos, por uma questão de simplificação, são os valores tidos como referência, no entanto, todos estes valores são editáveis e aconselha-se a que o utilizador efectue primeiro uma estimativa do consumo ou mesmo uma medição e posteriormente insira os valores que obteve conforme mencionado no capítulo anterior. Considera-se de igual modo um valor de 100 m² de superfície de captação sendo o material que a compõe a telha. Não se considera consumos para lavagens de veículos nem para rega de jardins, uma vez que nem todas as habitações possuem jardins e nem todos os utilizadores lavam o veículo em casa, deixando estas escolhas ao critério de cada um. A figura 5.6 ilustra as escolhas efectuadas e a situação descrita anteriormente.

ESTIMATIVA CONSUMOS DA HABITAÇÃO

Nº Ocupantes: 4

USOS FREQUENTES

Consumos do WC

Nº Visitas por pessoa por Dia: Valor de Referência 5

Volume gasto por Descarga (Litros): Autoclismo Dual, Valor de Referência 20

Volume gasto por pessoa por Banho (Litros): Chuveiros de Baixo C..., Valor de Referência 18

Consumo Total: 472 Litros/dia

Consumos das Máquinas

Máquina de Lavar Roupa

Freq. média de Utilização: 0.5, Valor de Referência

Volume gasto por Lavagem: 16, Valor de Referência

Máquina de Lavar Louça

Freq. média de Utilização: 0.7, Valor de Referência

Volume gasto por Lavagem: 4, Valor de Referência

Consumo Total: 43.2 Litros/dia

USOS MENOS FREQUENTES

Consumos para Limpeza e outras actividades

Volume de Água / Lavagem: 6, Valor de Referência

Nº de Lavagens: 1

Consumo para limpeza & outras activ.: 24 Litros/dia

Consumos para Lavagens de veículos

Volume de Água / Lavagem: 0 Litros

Nº de Lavagens: 0

Consumo para Lavagem de Veículos: 0 Litros/dia

Consumos para Rega de Jardim

Área do Jardim: 0 m²

Volume de Água: 0 Litros/m²

Volume de Água por Rega: 0 Litros

Consumo de Água substituível por Água Pluvial (Demanda): Consumo de Água 0.5392 m³/dia

LOCALIZAÇÃO DA HABITAÇÃO

Cidade: Aveiro, Concelho: Vale de Cambra

CLIMATOLOGIA

Ver / Editar Dados de Precipitação

Dados de Precipitação

Nota: Clique no botão "Dados de Precipitação" para obter e/ou editar os dados de precipitação para a localização escolhida.

CARACTERÍSTICAS DA HABITAÇÃO

Área de Captação (m²): 100

Tipo de Superfície de Captação (Coeficiente de Run Off):

Tipo Cobertura: Coberturas Impermeáveis, Material: Telha

Coeficiente de Run Off correspondente: 0.8

SISTEMA

Período de Estiagem (dias): 120, Valor Referência

Eficiência Hidráulica de Filtragem: 0.9, Valor Referência

Nota:

- O período de Estiagem representa o período de reserva ou autonomia desejado para o sistema.
- No caso de dúvida, opte pela utilização do valor de referência.
- A Eficiência Hidráulica de Filtragem corresponde à relação entre a quantidade de água filtrada que chega ao reservatório e a

Schematic Diagram: Shows a house with a rainwater harvesting system. Rain falls on the roof, goes through a 'Desviador de Primeiras Chuvas' (First Flush Divertor), then through a 'Filtro de Entrada c/ Remoção de detritos Sólidos' (Entry Filter with removal of solid debris). The water then goes to a 'Tanque de Armazenamento' (Storage Tank) with an overflow ('Saída do Excesso de Água (Transbordo do Tanque)'). The tank is connected to a 'Bomba' (Pump) and a 'Rede de Esgotos' (Sewer Network). Arrows indicate the flow of water from the roof to the tank and then to the pump and sewer network.

Figura 5.6 – Introdução e aquisição de dados para o sistema de aproveitamento de águas pluviais

Antes da introdução da área da superfície de captação é necessário que o utilizador adquira os dados pluviométricos para a localização escolhida, o que pode ser feito recorrendo ao módulo "Climatologia". Neste módulo, estão disponíveis para escolha tanto séries de dados anuais como series de dados mensais que podem ser seleccionadas pelo utilizador. A figura 5.7 ilustra os dados pluviométricos para a localização seleccionada.

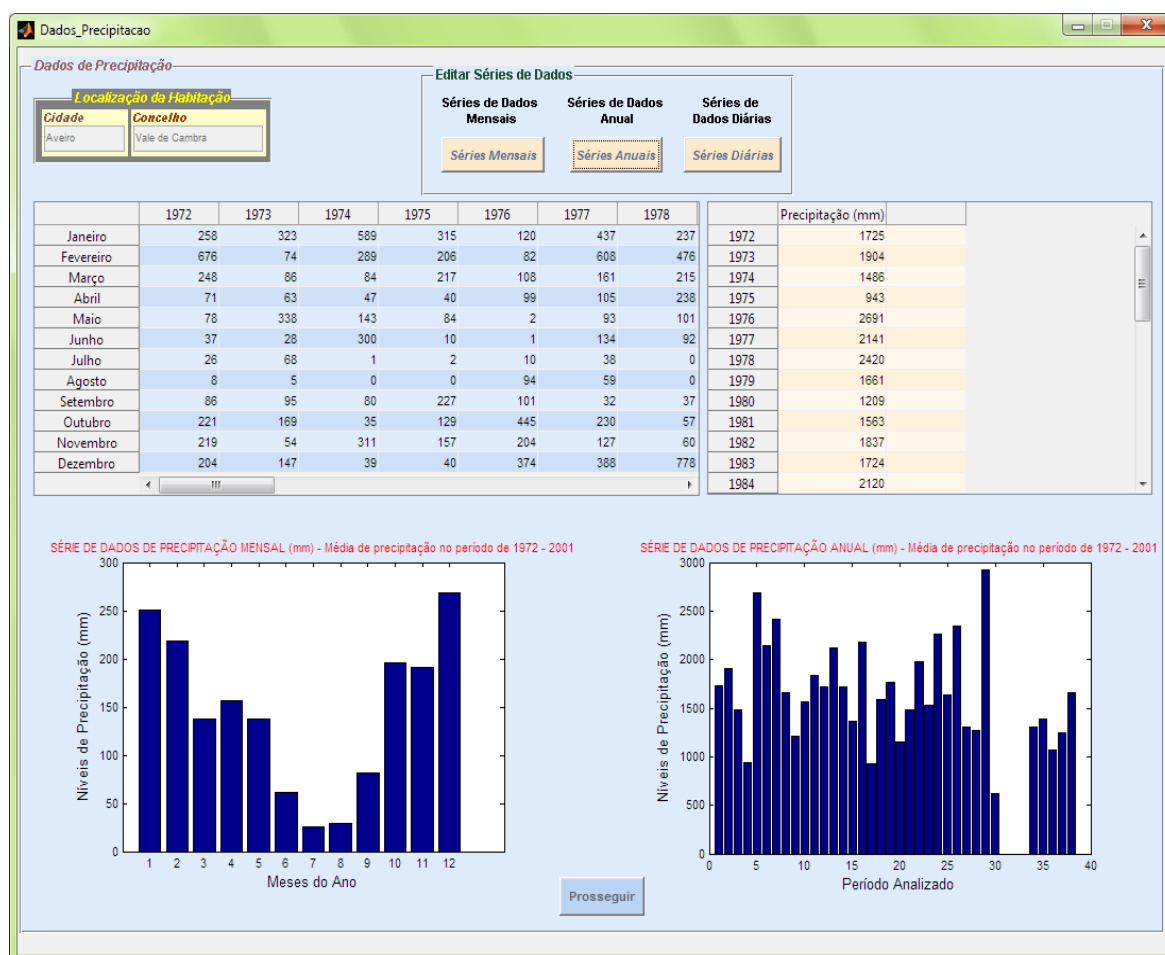


Figura 5.7 – Dados pluviométricos para a localização seleccionada (Aveiro, Vale de Cambra)

São visíveis os gráficos e as tabelas contendo os dados pluviométricos, conforme se mencionou no capítulo anterior. Para a série de dados de precipitação mensal são tidas em conta as precipitações que ocorrerem, na localização seleccionada, nos últimos 30 anos, conforme se ilustra na figura 5.8. É aconselhável a utilização de séries de dados que não sejam inferiores a 10 anos, pelo que a utilização de séries que possuem registos de largos anos torna menor o erro obtido no dimensionamento dos sistemas de aproveitamento de água pluvial. No entanto os dados facultados ao utilizador, e que servem de base aos cálculos para o sistema de aproveitamento de água pluvial, é a média dos registos pluviométricos desta série conforme se visualiza na figura 5.9.

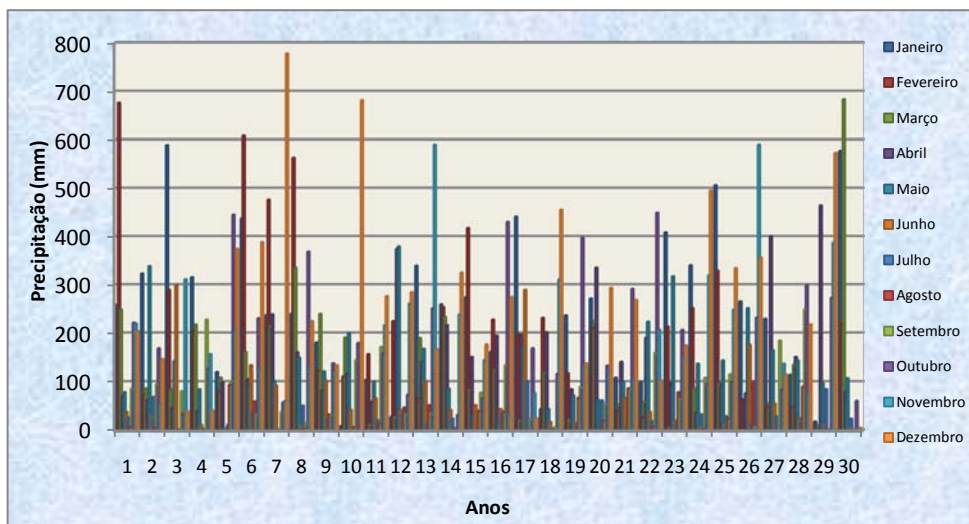


Figura 5.8 – Série de precipitações mensais no espaço temporal definido para a localização seleccionada (Aveiro, Vale de Cambra)

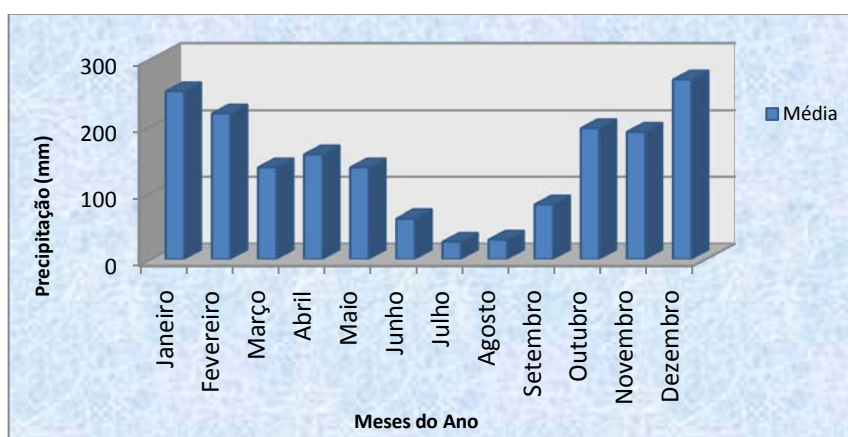


Figura 5.9 – Média da série de precipitações mensais para o espaço temporal definido para a localização seleccionada (Aveiro, Vale de Cambra)

As séries anuais partem do mesmo princípio, contendo registos largos de precipitações ocorridas, na localização seleccionada – no caso, Aveiro, Vale de Cambra.

De seguida, admitiu-se e introduziu-se uma área de captação de 100 m^2 e o tipo de superfície e material constituinte estão de acordo com os pressupostos admitidos anteriormente, e após a introdução destes parâmetros torna-se visível ao utilizador o coeficiente de run off para o seu sistema conforme se visualiza pela figura 5.6. Para os parâmetros em falta, período de estiagem e eficiência hidráulica de filtragem introduziram-se os valores de referência. Após a introdução destes dados, e à semelhança do que acontece para as outras tecnologias, surge um pequeno esquema de ligação que proporcionará ao utilizador um melhor entendimento do sistema que acabou de seleccionar. Terá acesso ainda, conforme mencionado no capítulo anterior, a uma caixa de texto onde encontrará as definições destes parâmetros conforme se visualiza pela figura 5.6.

Neste ponto, todos os parâmetros necessários ao sistema estão introduzidos e adquiridos, pelo que o utilizador pode passar à fase seguinte e efectuar os cálculos energéticos e pluviais, ou efectuar o dimensionamento dos sistemas seleccionados.

5.4 – CÁLCULOS ENERGÉTICOS E PLUVIAIS E CONFIGURAÇÕES DOS SISTEMAS

Tomadas as decisões de que sistemas seleccionar e terminada a introdução e aquisição dos parâmetros necessários para cada tecnologia, o utilizador tem acesso à janela na qual poderá observar o dimensionamento dos sistemas que seleccionou bem como a produção energética e nível de aproveitamento de água da água da chuva dos respectivos sistemas. Como referido no capítulo anterior, o utilizador apenas tem o controlo do botão calcular. Primeiramente é visível um pequeno resumo das escolhas que efectuou e de seguida, premindo o botão calcular, é-lhe facultado o dimensionamento dos sistemas bem como a sua produção e nível de aproveitamento. A figura 5.10 ilustra a situação descrita.

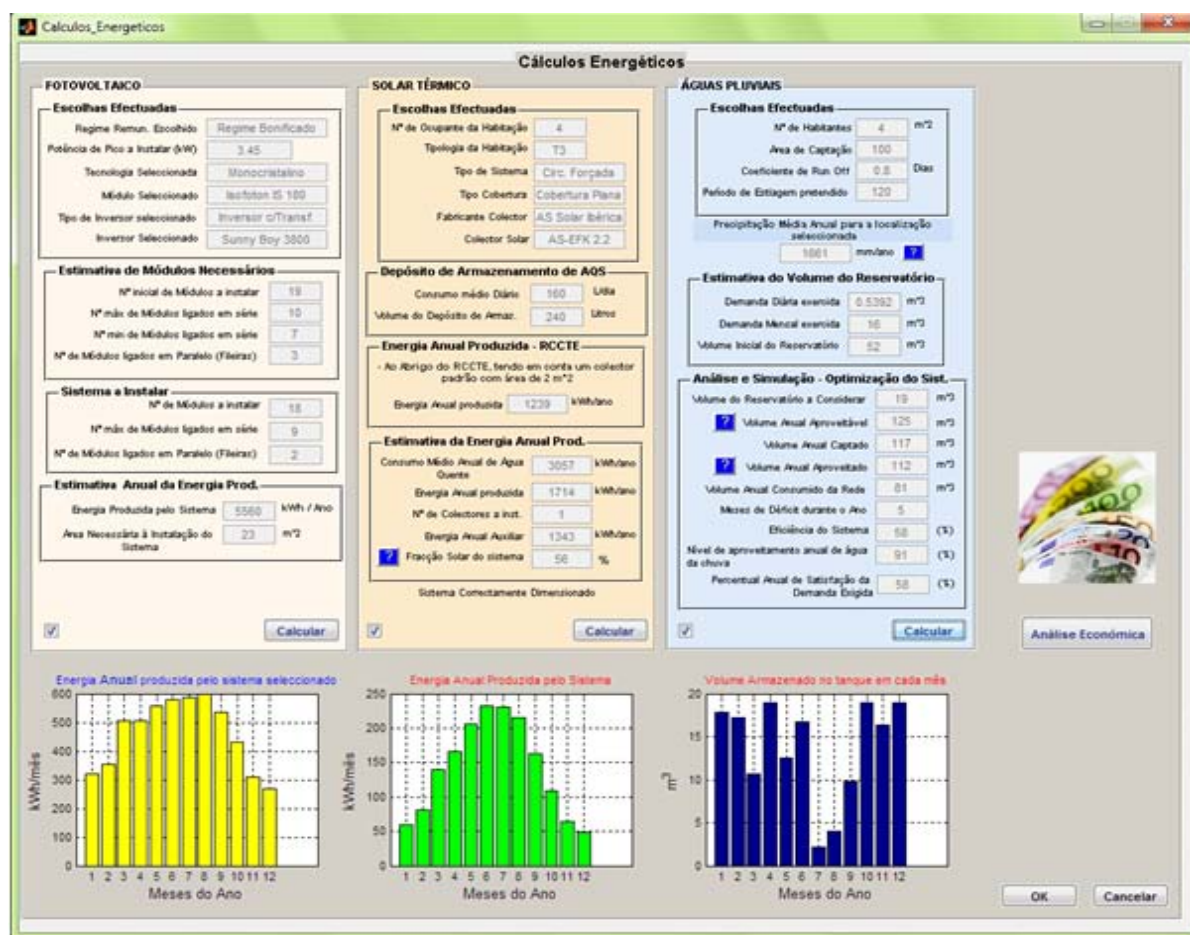


Figura 5.10 – Cálculos energéticos e pluviais para os sistemas seleccionados pelo utilizador

Também visualizável, é o facto dos resultados serem dados sob a forma de gráfico de barras, o que leva a uma melhor compreensão do comportamento e produção ao longo do ano dos diferentes sistemas seleccionados. Posto isto e pressionando o botão análise económica, ilustrado na figura 5.10, o utilizador é conduzido à etapa final onde poderá efectuar a análise económica aos sistemas que seleccionou. A figura 5.11 ilustra o funcionamento desta última etapa.

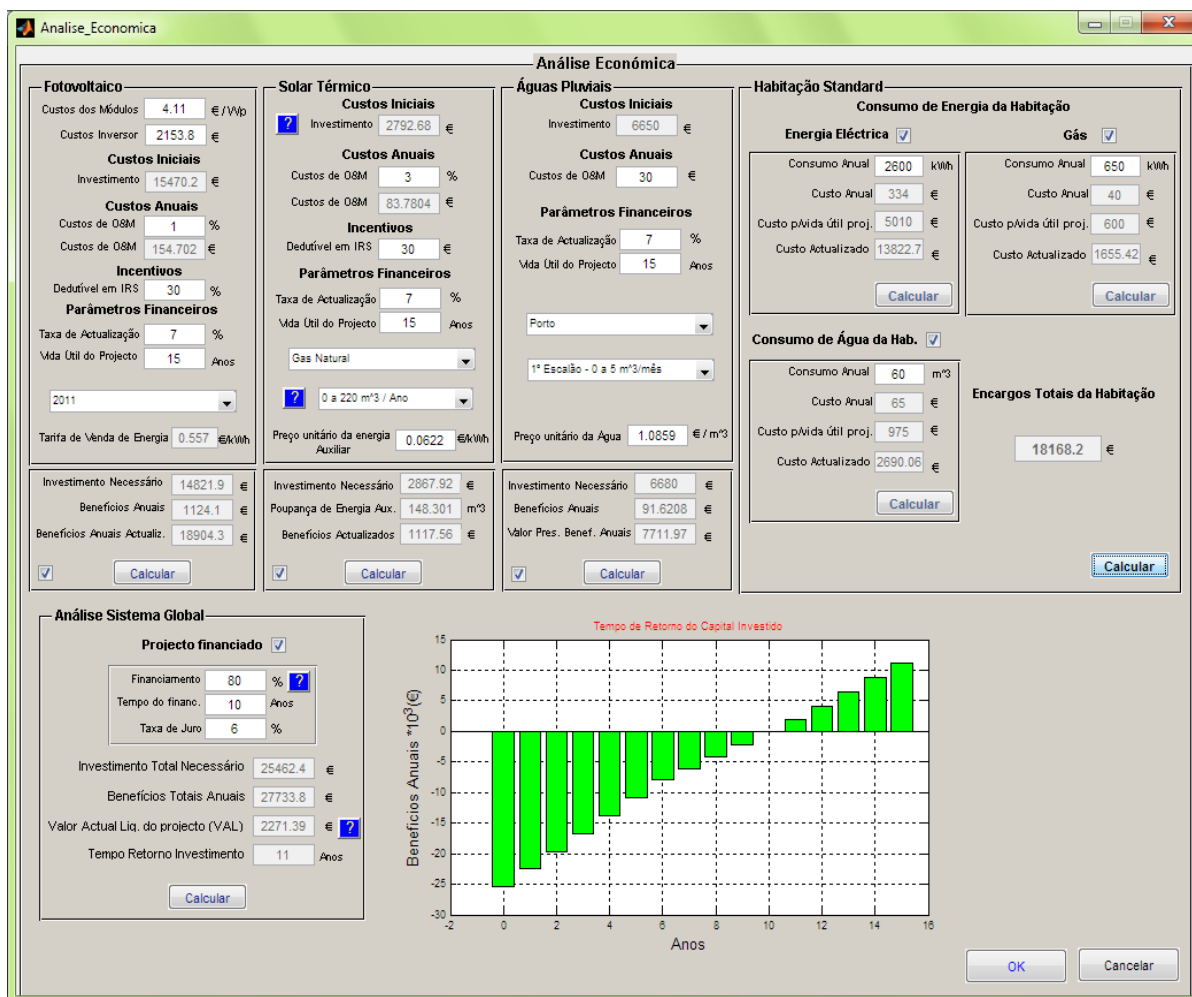


Figura 5.11 – Análise Económica do sistema global

Efectuando uma primeira e breve análise à figura 5.11, verifica-se que o utilizador poderá decidir, com confiança, pelo investimento neste sistema (composto pelas três tecnologias renováveis). Este investimento é favorável uma vez que o valor actual líquido deste projecto (VAL) é positivo. Este indicador é o que traduz se um projecto é viável ou não. Caso o valor actual líquido do projecto resultasse negativo então o projecto não se afigurava viável. O sistema global fica pago ao fim de 11 anos.

O utilizador possui ainda a oportunidade de efectuar uma comparação entre a sua habitação, considerada como standard (sem incorporação de tecnologias de aproveitamento de energias renováveis), com a habitação contendo o sistema que acabou de seleccionar. Esta comparação, proporciona-lhe o conhecimento dos encargos que a sua habitação possui, uma vez que ainda não tem qualquer tecnologia instalada, e os benefícios resultantes da instalação destes sistemas.

CAPÍTULO 6- Discussão dos Resultados e Conclusões

O presente capítulo apresenta a análise e discussão dos resultados obtidos para a análise económica efectuada ao sistema global seleccionado, o qual é composto pelas três tecnologias renováveis para integração na habitação. Esta será elaborada tendo em conta os pressupostos admitidos no capítulo anterior, ou seja, efectuar-se-á a análise para uma habitação situada na cidade de Aveiro e no concelho de Vale de Cambra. Os equipamentos que compõem os sistemas estão de acordo com as figuras 5.1, 5.5 e 5.6 pertencentes ao capítulo anterior e a análise efectuada de acordo com a figura 5.10 e 5.11 do mesmo capítulo. Apresenta ainda as conclusões retiradas da elaboração deste trabalho.

6.1 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Tendo em conta os pressupostos adoptados analisa-se agora os resultados obtidos. De notar, que esta análise é elaborada tendo em conta que a habitação se situa na cidade de Aveiro e no concelho de Vale de Cambra.

O dimensionamento do sistema solar fotovoltaico, tendo em conta o módulo solar (Isofoton IS 180) e o inversor (Sunny Boy 3800) escolhidos, resultou na necessidade de instalação de 18 módulos fotovoltaicos cuja configuração resulta em 9 módulos ligados em série ao longo de 2 fileiras. Com este sistema o utilizador consegue uma produção anual da ordem dos 5500 kWh/ano e necessita de uma área para instalação do sistema de 23 m².

O dimensionamento do sistema solar térmico, tendo em conta o colector solar (AS-EFK 2.2) e uma habitação de tipologia T3, resultou na necessidade de um sistema composto por 1 colector solar e um depósito de armazenamento de água quente com capacidade para 240 litros. Com este sistema, o utilizador consegue uma produção de energia da ordem dos 1700 kWh/ano satisfazendo 53% do seu consumo de energia para aquecimento de águas sanitárias ao longo do ano e necessita de uma área de instalação de aproximadamente 2,50 m².

O dimensionamento do sistema de aproveitamento de águas pluviais, tendo em conta os níveis de pluviosidade do local e das necessidades de água da habitação, a qual se situa nos 16 m³/mês, resultou num tanque de armazenamento de águas pluviais com capacidade de aproximadamente 20 m³. Com a instalação deste sistema o utilizador consegue um volume aproveitável, anualmente, de cerca de 125 m³ de água pluvial, aproveitando destes, para satisfação do consumo da sua habitação, 112 m³, ou seja, irá consumir da rede, anualmente cerca de 81 m³ de água potável, o que conduz a uma eficiência do sistema da ordem dos 58% possuindo o sistema que instalou um nível de aproveitamento de água pluvial da ordem dos 90%, o que significa que, cerca de 90% da chuva que cai na superfície de captação neste local é aproveitado pelo sistema.

Posto isto pode-se prosseguir para a análise económica dos sistemas seleccionados. Convém lembrar que os sistemas seleccionados representam o sistema global sob o qual irá recair esta análise e este é composto pelas três tecnologias renováveis disponíveis na aplicação.

De forma a simplificar a análise, o sistema global designar-se-á, adiante, apenas de sistema. Para a análise económica do sistema admitiu-se um tempo de vida útil para o projecto (instalação das três tecnologias renováveis na habitação) de 15 anos bem como um financiamento de 80% do capital necessário ao investimento emprestado por um período de 10 anos. As taxas necessárias são as mencionadas no capítulo 2 em modelo económico bem como os custos de operação e manutenção.

Conduzindo a análise económica por cada tecnologia até ao sistema global pode constatar-se os custos e benefícios que cada um traz à habitação. No caso do sistema fotovoltaico o investimento total necessário será de 14.821,90€. O sistema terá um custo anual de operação e manutenção aproximadamente de 175€, o qual é englobado no valor de investimento total. Admitiu-se que o sistema era ligado à rede em 2011, pelo que,

anualmente fornecerá ao utilizador um benefício da ordem dos 1100€. Considerando o tempo de vida útil do projecto de 15 anos, como atrás foi referido, e actualizando os benefícios anuais ao longo deste período verifica-se que o sistema fotovoltaico proporciona aproximadamente 18.900€ de benefícios à habitação onde foi instalado.

No caso do sistema solar térmico o investimento total necessário é de aproximadamente 2870€. Este sistema terá um custo de operação e manutenção da ordem dos 84€ anuais. Para este caso, admitiu-se que esta tecnologia substituiria o gás natural no aquecimento de água sanitária, admitindo-se, de igual modo, que a habitação se encontra no 1º escalão de consumo desta energia primária. Com a instalação deste sistema o utilizador consegue poupar cerca de 150 m³ de gás natural trazendo este sistema um benefício à habitação, no período de vida útil deste projecto, aproximadamente de 1120€. É interessante reparar que estes sistemas não se apresentam viáveis sob o ponto de vista económico, pois possuem um investimento superior ao benefício que fornecem para o período de vida útil analisado, no entanto, sob o ponto de vista ambiental representa um bom investimento, pois reduz o consumo de energia da habitação e as emissões de gases poluentes associados. Daqui se compreende também o objectivo da legislação actual em obrigar à instalação destes sistemas aquando da aquisição e instalação de um sistema solar fotovoltaico, uma vez que os benefícios deste último são bastante superiores conseguindo colmatar a diferença existente de uma tecnologia para a outra e consegue tornar o conjunto (fotovoltaico mais térmico) viável sob o ponto de vista económico.

No caso do sistema de aproveitamento de águas pluviais o investimento total necessário nesta tecnologia é da ordem dos 6700€. Admitindo que a habitação se encontra no 1º escalão de consumo deste recurso, a instalação desta tecnologia fornece à habitação um benefício anual aproximadamente de 92€, mas considerando o tempo de vida útil do projecto e actualizando os benefícios a esta escala temporal, este sistema fornece à habitação um benefício da ordem dos 7700€.

Analisando os resultados globais, para este sistema nesta localização, verifica-se que o investimento total necessário é de 25462€. Uma vez que a vida útil do projecto é de 15 anos, os benefícios actualizados, durante este período, ascendem a 27.734€, o que significa que o valor actual líquido (VAL) deste projecto é positivo e ascende a 22.71€. Isto significa que a decisão de investimento neste projecto pode ser considerada como favorável. No que diz respeito ao tempo de retorno do capital investido neste sistema, considerando o financiamento e o tempo de financiamento admitido, este fica pago ao fim de 11 anos. Tendo em consideração que o período de vida útil adoptado foram 15 anos, significa que os últimos 4 anos de funcionamento do sistema resultarão em lucro para o utilizador ou para a sua habitação. Isto é visível na figura 5.11 através do gráfico do tempo de retorno. Note-se que, em termos de valor acumulado, o sistema apresentará, no último ano de vida útil deste projecto, um benefício da ordem dos 11.000€.

Outro ponto interessante de analisar é estabelecer a comparação entre a habitação, com a integração destas tecnologias de aproveitamento de energias renováveis, e a habitação sem estas, considerada como standard. Na análise da habitação considerada como standard, admite-se um consumo anual de energia eléctrica de 2600 kWh ao ano, um consumo de gás de 650 kWh ao ano e um consumo de água aproximadamente de 60 m³ ao

ano. É necessário considerar o mesmo tempo de vida útil que se considerou para a habitação com estas tecnologias, pois é necessário obter um termo de comparação. Para os 15 anos considerados, a habitação apresentará, em valor actualizado a este período, cerca de 18.170€ de encargos. A habitação com incorporação das tecnologias referidas, conforme visto anteriormente, apresenta um benefício para o mesmo período temporal que ascende a 27.734€. Então, estabelecendo a comparação entre as duas habitações verifica-se que optando pela habitação sustentável, e tendo em conta o período de 15 anos estipulado, o utilizador consegue no final uma poupança de cerca de 9500€, ao passo que, continuando com a sua habitação sem ter incorporado tais tecnologias terá apenas encargos. Interessa ressaltar também o facto de que ao introduzir este tipo de tecnologias na sua habitação o utilizador torna-a mais eficiente e sustentável.

6.2 – CONCLUSÕES

A introdução de tecnologias de aproveitamento de energias renováveis nas habitações, leva a que as mesmas se tornem mais eficientes e sustentáveis e forneçam benefícios tanto económicos como ambientais aos seus habitantes contribuindo, também, para a segurança no abastecimento energético entre outros. Neste sentido, este trabalho realizou uma ferramenta informática de fácil utilização e cujo objectivo é auxiliar o utilizador na sua decisão de investimento, ou não, nestas tecnologias.

Resultou deste trabalho, uma aplicação sólida, útil e precisa, que para além de fornecer resultados que podem ser visualizados graficamente (para uma melhor percepção) obtidos a partir da introdução de dados relativamente simples, apresenta uma interface gráfica clara e amigável ao utilizador, permitindo-lhe o conhecimento mais abrangente de cada tecnologia renovável bem como os vários aspectos relacionados com o seu funcionamento, quer individual quer em termos de sistema como um todo.

Fica assim disponível, uma ferramenta informática consistente e vantajosa no suporte à decisão de investimento nestas tecnologias para integração numa habitação para qualquer tipo de utilizador.

6.3 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em conta as dificuldades ainda não solucionadas e a experiência acumulada no desenvolvimento deste trabalho, propõe-se os seguintes temas para trabalhos futuros:

Optimização dos modelos matemáticos das diversas tecnologias, uma vez que o conhecimento científico nestas tecnologias está permanentemente em evolução.

Desenvolver a possibilidade do programa facultar ao utilizador também a hipótese de dimensionamento e configuração de sistemas solares fotovoltaicos autónomos e sistemas híbridos acompanhados do conhecimento da respectiva análise económica.

Implementar o cálculo da radiação solar com a correspondente interface gráfica, que permita uma interacção fácil com o utilizador, para as diversas localizações através de novos modelos matemáticos, e introduzir metodologias de cálculo de ângulo óptimo para os módulos e colectores.

- Introdução da hipótese de escolha da tecnologia eólica para integração numa habitação. Implementação dos cálculos da produção energética desta tecnologia acompanhada da correspondente análise económica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulla, Fayez A., e A.W. Al-Shareef. "Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan." *Desalination* 243, n.º 1-3 (2009): 1-93.
- Achard, Patrick, Alex Lohr, Albert M. Sarvise, e Martin de Wit. *Energy in Architecture The European Passive Solar Handbook*. Montagem por Albert Mitja i. B.T. Batsford Limited, 1993.
- Algarve, Águas do. "EcoFamílias-Água Relatório Final." Quercus - Associação Nacional de Conservação da Natureza, Águas do Algarve, 2008.
- ANQUIP. "Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais em Edifícios (SAAP)." *ETA 0701 Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais em Edifícios (SAAP)*. 2009.
- Aquapor. "Análise do Consumo de Água em Portugal Perfil de Consumidores e Consumos." AQUAPOR, 2009.
- Argul, F. J., M. Castro, A. Delgado, A. Colmenar, e J. Peire. *Edifícios Fotovoltaicos: Técnicas y Programas de Simulación*. Montagem por S. L. Artes. PROGENSA (Promotora General de Estudios, S.A.), 2004.
- Balaras, Constantinos A, Athina G Gaglia, Elena Georgopoulou, Sevastianos Mirasgedis, Yiannis Sarafidis, e Dimitris P Lalas. "European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings." *Building and Environment* 42 (2007): 1298-1314.
- Benatallah, A., R. Mostefaoui, e M. Boubekri. "A Comparison of Simplified and Statistical Methods of Sizing Photovoltaic Installation for a Remote Dwelling in the Saharan Region." *Journal of the Human-Environment System* 8, n.º 1 (2005): 1-6.
- Bertolo, Elisabete. "Aproveitamento da Água da Chuva em Edificações." Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006.
- Bourdeau, Luc. "Sustainable development and the future of construction: a comparison of visions from various countries." *Building Research & Information* 27(6) (1999): 354-366.
- Brown, Chris, Jan Gerston, e Stephen Colley. *The Texas Manual on Rainwater Harvesting*. Texas Water Development Board, 2005.
- Buhler, Alexandre José. "Determinação de Parâmetros Fotovoltaicos a partir de Ensaio de Curvas Características sem Iluminação." Universidade do Rio Grande do Sul, 2007.
- Cabral, Maurício Costa. "Águas pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado." *REGA* 4 (2007): 29-37.
- Camus, C., e E. Eusebio. "Micro-generation evaluation of the zero emissions technologies in the Portuguese market." 2008. 1-6.
- Canada's, Natural Resources. *Energy Efficiency Trends in Canada*. Natural Resources Canada, Natural Resources Canada's, 2006.

Castro, R. *Energias Renováveis e Produção Descentralizada - Introdução à energia Fotovoltaica, edição 2.* 2007.

Castro, Rui M.G. “Energias Renováveis e Produção Descentralizada Introdução à Energia Fotovoltaica, edição 1.” 2004.

Catalina, Tiberiu, Joseph Virgone, e Eric Blanco. “Development and validation of regression models to predict monthly heating demand for residential buildings.” *Energy and Buildings* 40 (2008): 1825-1832.

Cúmano, Gonçalo Nuno Rodrigues. “Análise técnico-económica de diferentes estratégias passivas de eficiência energética em edifícios: Caso de estudo: Edifício Pombalino.” Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2009.

DGEG. “Eficiência Energética nos Edifícios.” Direcção Geral de Energia-Ministério da Economia, 2002.

Dixon, A., D. Butler, e A. Fewkes. “Water saving potential of domestic water reuse systems using greywater and rainwater in combination.” *Water Science and Technology* 39, n.º 5 (1999): 25-32.

Eficiência, Energética. “Portugal Eficiência 2015 - Plano de Eficiência Energética nos Edifícios em Portugal.” 2008.

Energy, U.S. Department of. *Energy Information Administration - Annual Energy Review 2009.* U.S. Department of Energy, U.S. Department of Energy, 2009.

ESTIF. *European Solar Thermal Industry Federation.* 2007.

Europeu, O Parlamento. “Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água.” *Jornal Oficial das Comunidades Europeias* - (2000): -.

Fewkes. “Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalised approach.” *Urban Water* 1, n.º 4 (2000): 323-333.

Fewkes, A. “The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system.” *Building and Environment* 34, n.º 6 (1999): 765-772.

Filippín, C, Larsen S Flores, e M Canori. “Energy consumption of bioclimatic buildings in Argentina during the period 2001–2008.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (2010): 1216-1228.

Freitas, Susana Sofia Alves. “Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.” Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, 2008.

Ghisi, Enedir. “Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil.” *Building and Environment* 41, n.º 11 (2006): 1544-1550.

Ghisi, Enedir, Diego Lapolli Bressan, e Maurício Martini. “Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil.” *Building and Environment* 42, n.º 4 (2007): 1654-1666.

- Ghisi, Eneir, e Daniel Ferreira. "Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil." *Building and Environment* 42, n.º 7 (2007): 2512-2522.
- Ghisi, Eneir, e Sulayre M. Oliveira. "Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil." *Building and Environment* 42, n.º 4 (2007): 1731-1742.
- Gonçalves, Helder, e João Mariz Graça. *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. Montagem por DGGE / IP-3E. DGGE / IP-3E, 2004.
- Hansen, Anca D., Poul Sorensen, Lars Hansen, e Henrik Bindner. "Models for a Stand Alone PV System." *Riso National Laboratory* - (2000): -.
- Healy, John D. "Housing Conditions, Energy Efficiency, Affordability and Satisfaction with Housing: A Pan-European Analysis." *Housing Studies* 18 (3) (2003): 409-424.
- Hora, Renováveis na. "Renováveis na Hora." *Guia para a certificação de uma unidade de microprodução*, 2010.
- Incio, Vasco. "Sistemas Solares Térmicos." 2009.
- INETI. "Instalações Solares Térmicas." 2006.
- Inovação, Ministério da Economia e. "Renováveis na Hora, Guia para a certificação de uma unidade de microprodução." 2010.
- IST. *Programa ALTENER - Energia Fotovoltaica: Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação*. 2004.
- IST. "Programa ALTENER - Energia Solar Térmica: Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação." 2004.
- Khastagir, Anirban, e Niranjali Jayasuriya. "Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation." *Journal of Hydrology* 381, n.º 3-4 (2010): 181-188.
- Khoury-Nolde, Norma. "Rainwater Harvesting." (2002):
- King, David L., William E. Boyson, e Jay A. Kratochvil. "Photovoltaic Array Performance Model." *Photovoltaic System R\&D Department Sandia National Laboratories* - (2004): -.
- Luque, R. López. "A sizing method for stand-alone PV installations with variable demand." *Renewable Energy* 33 (2008): 1049-1055.
- Luque, R. López. "Approaches for developing a sizing method for stand-alone PV systems with variable demand." *Renewable Energy* 33 (2008): 1037-1048.
- Masters, Gilbert M. *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. Montagem por Wiley-Interscience. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2004.
- Mendes, Jorge Alberto. "Avaliação Económica de Projectos de Energias Renováveis - apontamentos das aulas teóricas de Economia das energias renováveis." 2010.

Mierzwa, José C., Ivanildo Hespanhol, Maurício C. Cabral, e Luana Di Beo. "Águas pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado." *REGA* 4 (2007): 29-37.

Moruzzi, Rodrigo B., Gabriela S. Carvalho, e Samuel C. Oliveira. "Balance flow concept applied to cistern volume calculation for household rainwater harvesting systems: viability and methodological improvement." *Ambiente* - (2008): -.

Neves, Mário Valente. "Algumas Sugestões Relativas à Gestão da Água na Região do Porto." (2003):

Oliveira, Fedra Tatiana Almeida. "Aproveitamento de água pluvial em usos urbanos em Portugal Continental: Simulador para avaliação da viabilidade." Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2008.

PARDPP. "Programa de Actuação para Reduzir a Dependência de Portugal face ao Petróleo." 2004.

Pinheiro, Manuel Duarte. *Ambiente e Construção Sustentável*. Montagem por Instituto do Ambiente. Fernandes \& Terceiro, 2006.

Pires, Luís, Pedro D. Silva, e J. P. Castro. "A importância do consumo energético dos edifícios na Europa: soluções propostas para a sua redução." - - (2005): -.

PNUEA. *Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Instituto da Água - Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água*. 2001.

Poravou, Alexandra. "Potencial Renewable Strategy In Greece." University of Strathclyde - Department of Mechanical Engineering, Ennergy Systems Research Unit, 2008.

RCCTE. *Decreto-Lei nº 80/2006 - Regulamento das Características e do Comportamento Térmico dos Edifícios*. 2006.

Roriz, Luís, João Rosendo, Fernando Lourenço, e Kathrin Calhau. *Energia Solar em Edifícios*. 1. Edições Orion, 2010.

Silva, J., e A. Ramos. "The applicability of passive solar solutions to Portuguese traditional buildings." *Housing Process \& Product* - (2003): -.

Soteris, Kalogirou. "Success Story of Solar Thermal Water Heaters." *Higher Technical Institute, Nicosia, Cyprus* - (2003): -.

Sousa, Samuel Menitra. "Integração em Edifícios de um Sistema Fotovoltaico de Potência 3,68 kWp, (Microgeração)." Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2009.

Stoppato, A. "Life cycle assessment of photovoltaic electricity generation." *Energy* 33 (2008): 224-232.

Teixeira, Samuel. "Energia Solar - Conversão Térmica." 2005.

Thermal, European Solar. "Objective methodology for simple calculation of the energy delivery of small Solar Thermal systems." - - (2007): -.

Thevenard, Didier. "Earth-to-air Heat Exchanger, Design Evaluation." *Numerical Logics Inc.* (2008).

Thilo, Uwe Schmida. "Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects." *Urban Water* 1 (1999): 307-316.

Thomas, T.H., e D.B. Martinson. "Roofwater Harvesting A Handbook for Practitioners." Delft, The Netherlands, IRC International Water and Sanitation Centre, 2007.

Tirone, Arq.^a Livia. "Construir com Sustentabilidade." 2009.

Tomaz, Plinio. "Aproveitamento de água da chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis." *Aproveitamento de água da chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis*. 2007.

UE. "Estratégia Temática sobre Ambiente Urbano." *Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões: Para uma Estratégia Temática sobre Ambiente Urbano, COM(2004)60 final*, 2004.

UE, Pacote Clima-Energia da. "Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões: Pacote Clima Energia da UE." Parlamento Europeu, 2009.

UNEP. "Stockholm Environment Institute - Rainwater harvesting: A lifeline for human well-being." UNEP, 2009.

Vera, Luis Horacio, Fabiano Perin Gasparin, e Arno Krenzinger. "Resultados Simulados e Medidos em um Sistema Fotovoltaico Autonomo." *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 12 (2008)

Vera, Luís. "Programa Computacional para Dimensionamento e Simulação de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos." 2004.

Villarreal, Edgar L., e Andrew Dixon. "Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrkoping, Sweden." *Building and Environment* 40 (2005): 1174-1184.

Vivienda, Comisión Nacional de Fomento a la. "Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda." 2006.

Ward, Ian C. "What are the energy and power consumption patterns of different types of built environment?" *Energy Policy* 36 (2008): 4622-4629.

Zaizen, M, T Urakawa, Y Matsumoto, e H Taka. "The collection of rainwater from dome stadiums in Japan." *Urban Water* 1 (2000): 355-359.

Zhang, Jian, e Fariborz Haghighat. "Simulation of Earth-to-Air Heat Exchangers in Hybrid Ventilation Systems." *Ninth International IBPSA Conference Montréal, Canada August* (2005).

REFERÊNCIAS ONLINE

Agência Portuguesa do Ambiente - www.apambiente.pt, consultado pela última vez em 9 de Março de 2010.

AS Solar Ibérica - www.as-iberica.com, consultado pela última vez em 15 de Junho de 2010.

BaxiRoca - www.baxiaquecimento.com, consultado pela última vez em 15 de Junho de 2010.

Buidipedia - www.buidipedia.com, consultado pela última vez em 23 de Junho de 2010.

Direcção Geral de Energia e Geologia - www.dgge.pt, consultado pela última vez em 9 de Abril de 2010.

Instituto Nacional de Estatística - www.ine.pt, consultado pela última vez em 5 de Março de 2010.

Photon International - www.photon.com, consultado pela última vez em 12 de Maio de 2010.

Prestenergia - www.prestenergia.com, consultado pela última vez em 26 de Maio de 2010.

SolarBuzz - www.solarbuzz.com, consultado pela última vez em 26 de Agosto de 2010.